

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
завідувач кафедри
Олексій ГОГОРЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ СЕРЕДНЬОБЕРТОВОГО ДВИГУНА

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

Олександр МИТРОФАНОВ

Здобувач освіти

Сергій ІВАСЮК

Миколаїв 2025

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Машинобудівний навчально-науковий
Кафедра Двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації
Ступінь Магістр
Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
(шифр і назва)
Освітня програма Двигуни внутрішнього згорання

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
 Олексій ГОГОРЕНКО
« » 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Івасюк Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація конструкції паливного насоса високого тиску середньобертового двигуна
2. Керівник роботи д.т.н., проф. Митрофанов О. С.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом закладу вищої освіти від “___” _____ 20__ року № _____
3. Строк подання здобувачем роботи _____
4. Вихідні дані до роботи Потужність двигуна – 1380 кВт; частота обертання колінчатого валу – 720 хв⁻¹.
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальна конструкція та особливості роботи дизеля. 2. Розрахунок робочого циклу та побудова індикаторної діаграми. 3. Модернізація паливного насоса високого тиску. 4. Економічне обґрунтування модернізації двигуна. 5. Аналіз та розробка заходів охорони праці та навколишнього середовища.
6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Загальне вигляд судна. 2. Машинне відділення судна. 3. Поперечний розріз двигуна 6ЧН 28/32. 4. Паливна система двигуна 6ЧН 28/32. 5. Модернізована конструкція електрокерованої паливної секції ПНВТ.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Митрофанов О. С.		
Розділ хорони праці	Митрофанов О. С.		

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загальна конструкція та особливості роботи дизеля.		
2.	Розрахунок робочого циклу та побудова індикаторної діаграми.		
3.	Модернізація паливної системи для організації роботи двигуна за газодизельним циклом.		
4.	Економічне обґрунтування модернізації двигуна.		
5.	Аналіз та розробка заходів охорони праці та навколишнього середовища.		

Здобувач освіти



(підпис)

Сергій ІВАСЮК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Олександр МИТРОФАНОВ

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна магістерська робота «*Модернізація конструкції паливного насоса високого тиску середньобертowego двигуна*» присвячена модернізації елемента паливної системи суднового дизеля, а саме паливного насоса високого тиску.

Розглянуто особливості конструкції суднового дизеля 6L28/32 виробництва фірми MAN Diesel. Виконано моделювання робочого циклу для номінального режиму роботи.

Виконано аналіз загальних закономірностей, які визначають динаміку процесу упорскування палива в дизелях, а також особливостей роботи гідравлічно-керованих елементів паливної системи дизелів. Модернізовано конструкцію паливної секції ПНВТ двигуна 6L28/32, а також виконано розрахунок ефективності застосування цієї електрокерованої паливної секції.

Встановлено, що модернізація конструкції паливної секції дозволила забезпечити річну економію коштів за рахунок зниження питомої ефективної витрати палива.

Розроблено основні вимоги з охорони праці на судні. Виконано розрахунок механічної вентиляції у приміщенні машинного відділення. Проаналізовано можливі та перспективні шляхи для зниження емісії NO_x з відпрацьованими газами.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана українською мовою. Робота складає 66 аркуші розрахунково-пояснювальної записки та включає п'ять креслень формату A1.

Ключові слова: дизельний двигун; робочий цикл; паливна система; паливний насос високого тиску; тиск упорскування; тривалість упорскування.

					КРМ.142.6221м.25.10.00.ПЗ	Лист
						4
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACTS

The master's thesis “*Modernisation of the high-pressure fuel pump design for medium-speed engines*” is devoted to the modernization of an element of the fuel system of a marine diesel engine, namely the high-pressure fuel pump.

The design features of the 6L28/32 marine diesel engine manufactured by MAN Diesel are considered. Modeling of the operating cycle for nominal operating mode has been performed.

An analysis of the general patterns that determine the dynamics of the fuel injection process in diesel engines, as well as the features of the operation of hydraulically controlled elements of the diesel fuel system, has been performed. The design of the fuel section of the 6L28/32 engine's high-pressure fuel injection system has been modernized, and the efficiency of this electrically controlled fuel section has been calculated.

It has been established that the modernization of the fuel section design has resulted in annual savings due to a reduction in specific effective fuel consumption.

The basic requirements for occupational safety on the ship have been developed. The mechanical ventilation in the engine room has been calculated. Possible and promising ways to reduce NO_x emissions from exhaust gases have been analyzed.

The master's thesis is written in Ukrainian. The work consists of 66 pages of calculations and explanatory notes and includes five A1 format drawings.

Key words: diesel engine; operating cycle; fuel system; high-pressure fuel pump; injection pressure; injection duration.

					КРМ.142.6221м.25.10.00.ПЗ	Лист
						5
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
Розділ 1. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ТИПУ 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)	
1.1. Особливості конструкції суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32).....	9
1.2. Висновок до розділу.....	19
Розділ 2. РОЗРАХУНОК НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ТИПУ 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)	
2.1. Основні задачі математичного моделювання робочого циклу ДВЗ...	20
2.2. Розрахунок номінального режиму роботи суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32).....	20
2.3. Розрахунок динаміки дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32).....	27
2.4. Висновок до розділу.....	32
Розділ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ СУДНОВОГО ДВИГУНА ТИПУ 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)	
3.1. Аналіз загальних закономірностей, які визначають динаміку процесу упорскування палива в дизелях.....	33
3.2. Особливості роботи гідравлічно-керованих елементів паливної системи дизелів.....	37
3.3. Модернізація конструкції паливного насоса високого тиску.....	38
3.4. Розрахунок ефективності застосування модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32).....	43
3.5. Висновок до розділу.....	49
Розділ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ СУДНОВОГО ДВИГУНА ТИПУ 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)	

4.1. Техніко-економічне обґрунтування модернізації суднового двигуна 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32).....	50
4.2. Висновок до розділу.....	53
Розділ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
5.1. Основні вимоги з охорони праці на судні.....	54
5.2. Розрахунок механічної вентиляції у приміщенні машинного відділення судна.....	60
5.3. Аналіз можливих шляхів зниження емісії NO _x з відпрацьованими газами дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32).....	61
5.4. Висновки до розділу.....	63
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	65

Додаток А. Загальне вигляд судна

Додаток Б. Машинне відділення судна

Додаток В. Поперечний розріз двигуна 6ЧН 28/32

Додаток Г. Паливна система двигуна 6ЧН 28/32

Додаток Д. Модернізована конструкція електрокерованої паливної секції ПНВТ

ВСТУП

Поліпшення експлуатаційних характеристик дизелів включає широке коло питань, вирішення яких пов'язане із роботою паливної системи. Ряд проблем, що виникають при вдосконаленні характеристик паливних систем, стає ще більш гострою. Сюди можна віднести завдання формування швидкісних характеристик характеристики упорскування, стабілізацію процесу упорскування, підвищення рівномірності подачі палива від циклу до циклу впорскування, по секціях системи, при зміні режимів роботи, методи усунення додаткового впорскування та встановлення критеріїв, при яких це явище може виникати під час форсування існуючих або у створенні нових систем.

Останнім часом серйозна увага приділена дослідженню роботи паливних систем на неусталених режимах двигунів. Як показують дослідження, нерівномірність циклової подачі та випередження упорскування палива по циліндрах і від циклу до циклу істотно зростає, що призводить до періодичних навантажень двигуна відповідного скорочення терміну його служби. Збільшуються також розбіжності між цикловими подачами на неусталених і подібних усталених режимах характеризуються однаковими частотами обертання, положеннями рейки насоса, що ускладнює регулювання роботи дизеля. При форсуванні двигунів вплив відхилень, що виникають на неусталених режимах, ще більш яскраво виражено. Тому дослідження роботи паливних систем різних типів і цих режимах дуже важливо. З розширенням області застосування багатопаливних двигунів необхідно проведення аналогічних досліджень процесу паливоподачі при роботі та різних паливах.

Також, конструктори паливних систем вивчають можливості спрямованої зміни характеристик паливних систем шляхом розробки та застосування нагнітальних клапанів спеціальних типів. Зміна конструкції нагнітальних клапанів не завжди позначається на всіх характеристиках системи впорскування палива, і характер цього впливу буває різним. Саме тому роботи у цьому напрямку є актуальними та затребуваними.

					<i>КРМ.142.6221м.25.10.00.ПЗ</i>	Лист
						8
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ОПИС КОНСТРУКЦІЇ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ТИПУ
6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)

1.1. Особливості конструкції суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32)

Серія дизельних двигунів L28/32 виробництва двигунобудівної фірми MAN (поперечний розріз – рис. 1.1), базові параметри яких подана в таблиці 1.1, призначена для застосування як головних двигунів (з частотою обертання колінчастого валу – 775 об/хв.) для приводу через редуктор гребного гвинта судна, а також як допоміжні у складі дизель-генераторної установки (див. рис. 1.2).

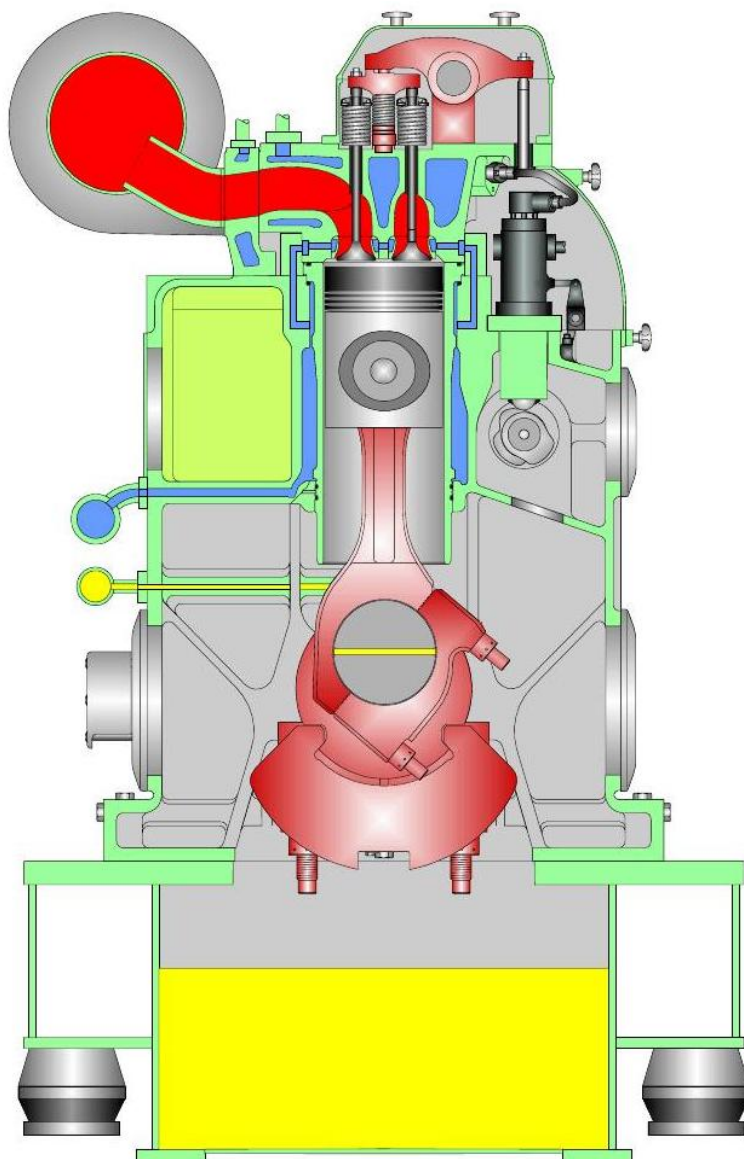


Рисунок 1.1 – Поперечний розріз дизеля MAN серії L28/32 (ЧН 28/32)

Таблиця 1.1 – Базові технічні та економічні характеристики модельного ряду дизелів MAN серії L28/32

№ з.п.	Параметр	Позначення та розмірність	Значення
1.	Циліндрова потужність	$N_{ц}$, кВт	175/185/220
2.	Частота обертання	n , хв ⁻¹	720/750/775
3.	Діаметр робочого циліндра	$D_{ц}$, м	0,280
4.	Хід поршня	S , м	0,320
5.	Ступінь стиснення	ε	13,30
6.	Максимальний тиск згоряння	P_z , МПа	13,0/14,5
7.	Середній ефективний тиск	p_e , МПа	1,79/1,93
8.	Питома ефективна витрата палива на номіналі	g_e кг/(кВт·год)	0,188/0,190
9.	Кількість робочих циліндрів	i , шт.	5...9

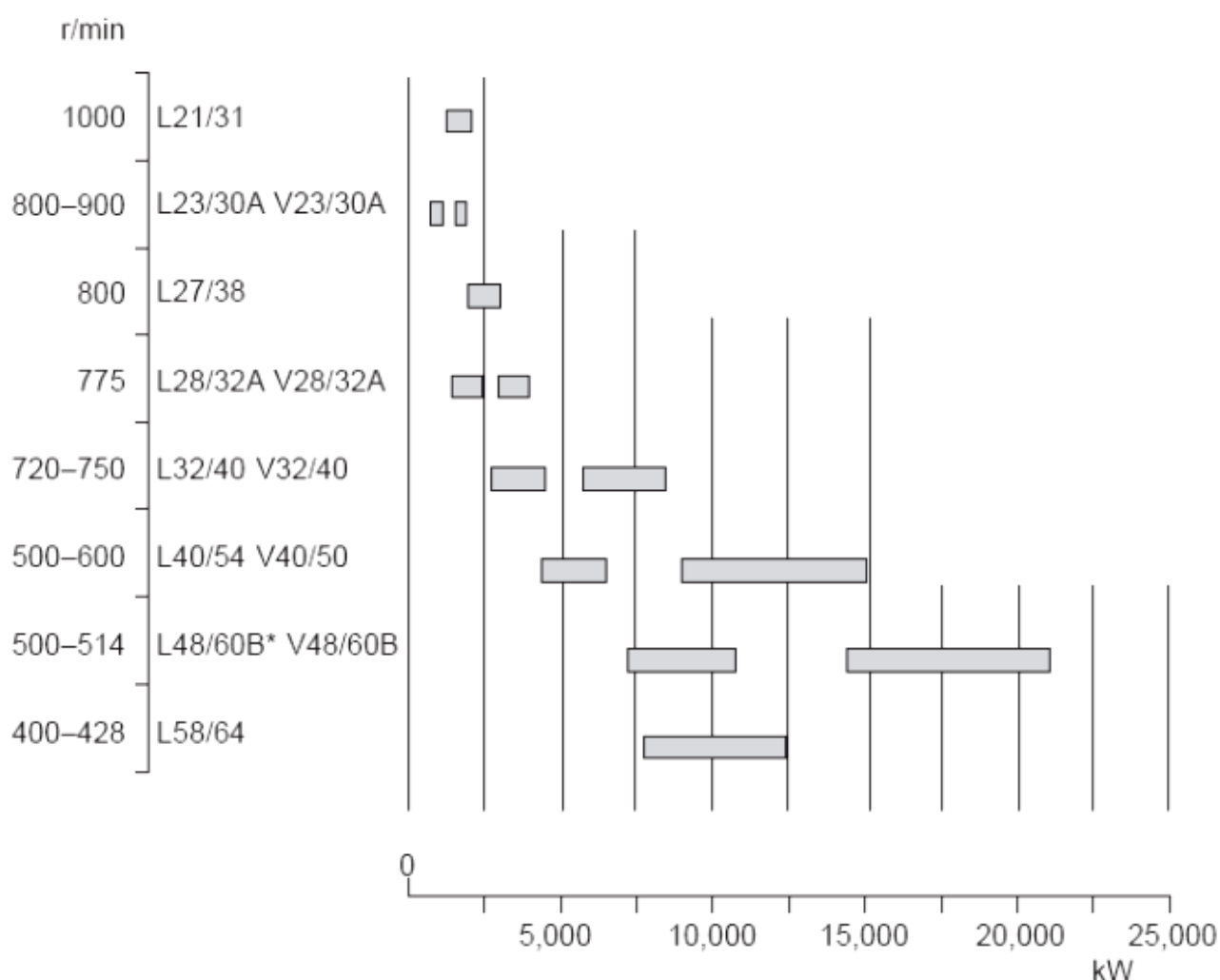


Рисунок 1.2 – Модельний ряд у відповідності до обертів та вихідної потужності середньообертових суднових дизелів MAN B&W

Фундаментні рами дизелів MAN серії L28/32 виготовляють зі сталі у вигляді зварної конструкції (див. рис. 1.1). Блоки циліндрів (рис. 1.3) та станіни виготовляють суцільними монолітними виливками.

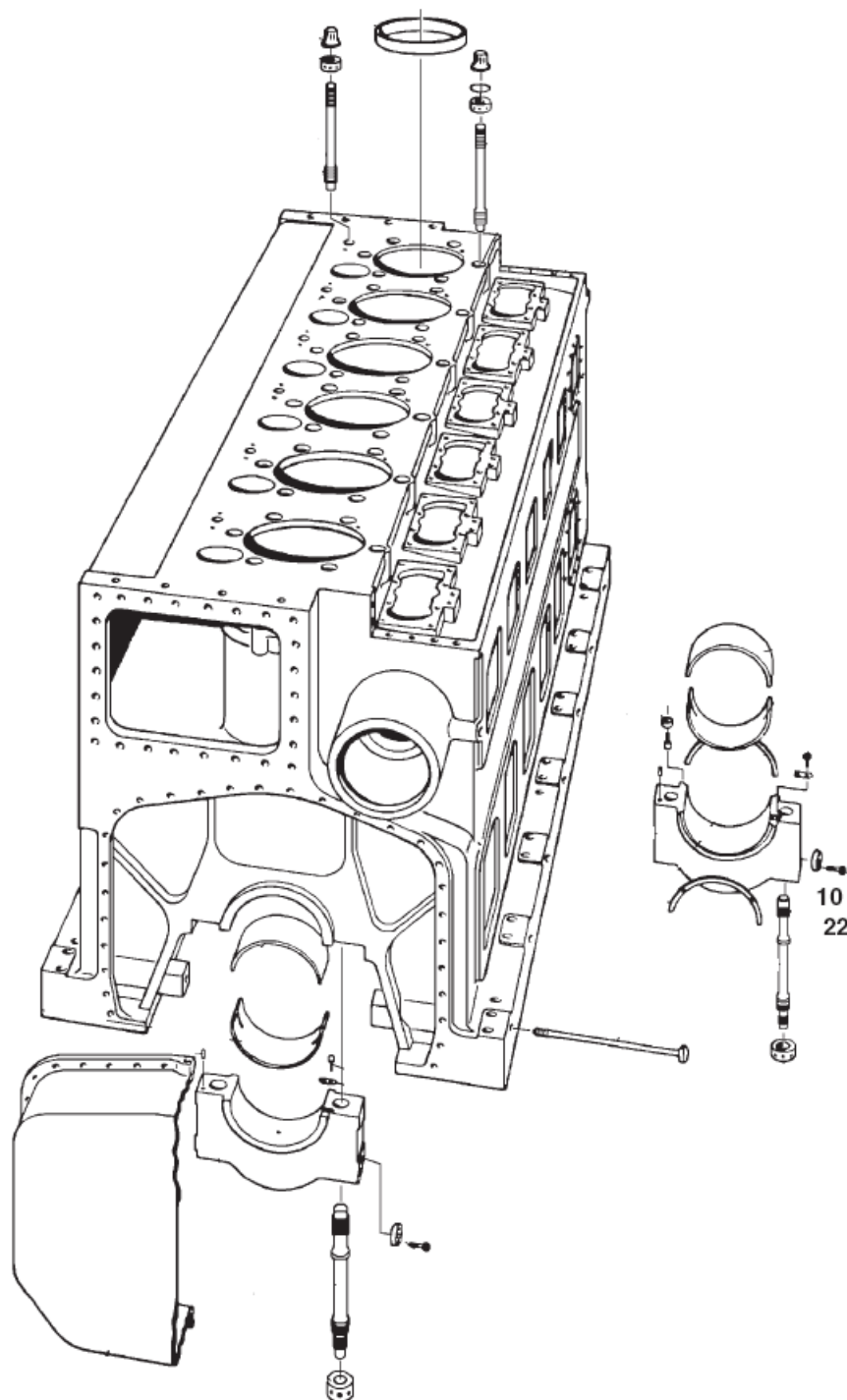


Рисунок 1.3 – Суцільний блок-картер дизеля MAN серії L28/32 (ЧН 28/32)

Колінчасті вали дизелів MAN серії L28/32 (рис. 1.4) тримаються на масивних кришках рамкових підшипників. Кришки кріпляться шпильками за допомо-

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.01.ПЗ

Аркуш

11

гою гідравлічного затягування домкратом. Додаткова фіксація шпильок кришки відбувається за допомогою встановлення горизонтальних болтів, які вкручуються безпосередньо у станину. Ці фіксаційні болти не лише значно підвищують поперечну жорсткість зібраного вузла, але й виконують також важливу функцію додаткової підвіски кришок рамкових підшипників.

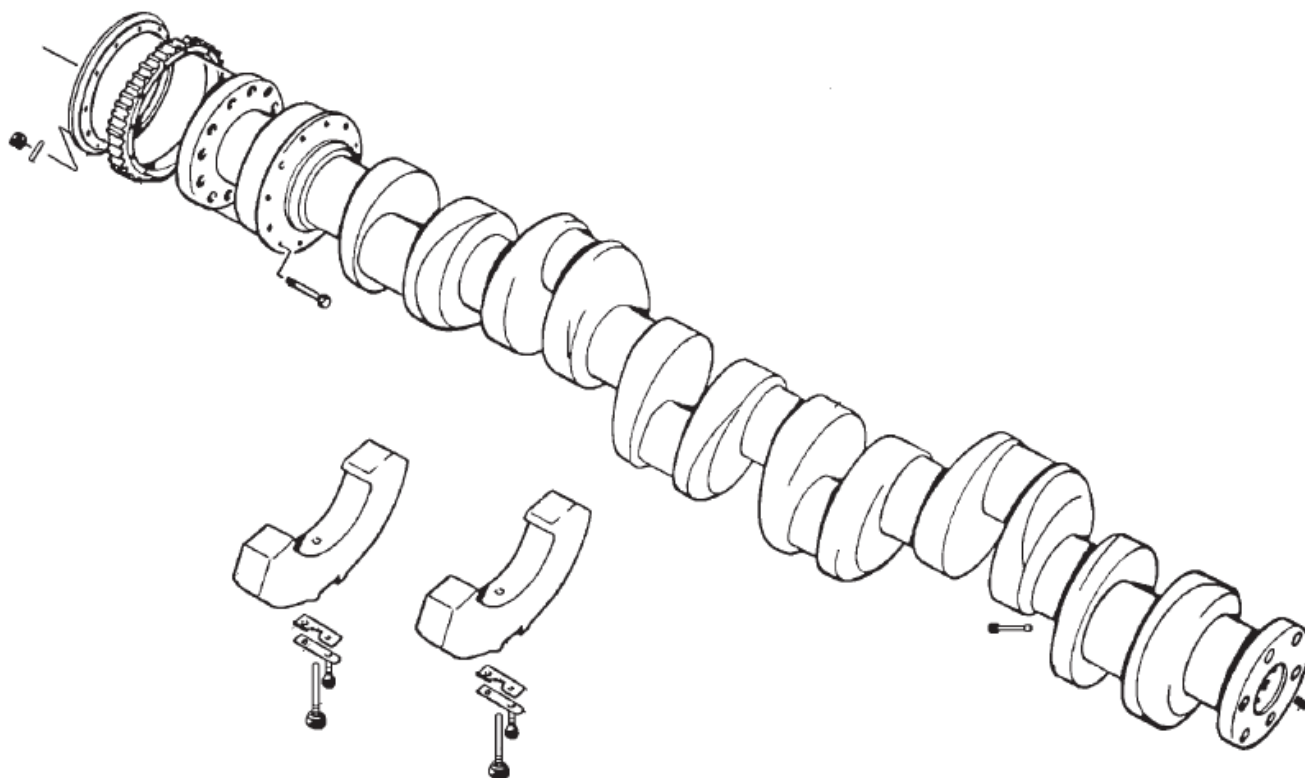


Рисунок 1.4 – Колінчастий вал та кришки рамкових підшипників дизеля MAN серії L28/32 (ЧН 28/32)

Втулки робочих циліндрів дизелів MAN серії L28/32 (рис. 1.5) виготовляють з дрібнозернистого високоякісного перлітного чавуну. Робоча поверхня втулок робочих циліндрів дизелів MAN серії L28/32 додатково оброблена хонінгуванням. Це робиться для полегшення пригонки й покращення затримки масла на поверхні дзеркала.

Охолодження втулок робочих циліндрів дизелів MAN серії L28/32 відбувається традиційним способом – за допомогою охолоджуючої рідини (води), що постійно циркулює в зарубашечному просторі блоку дизеля.

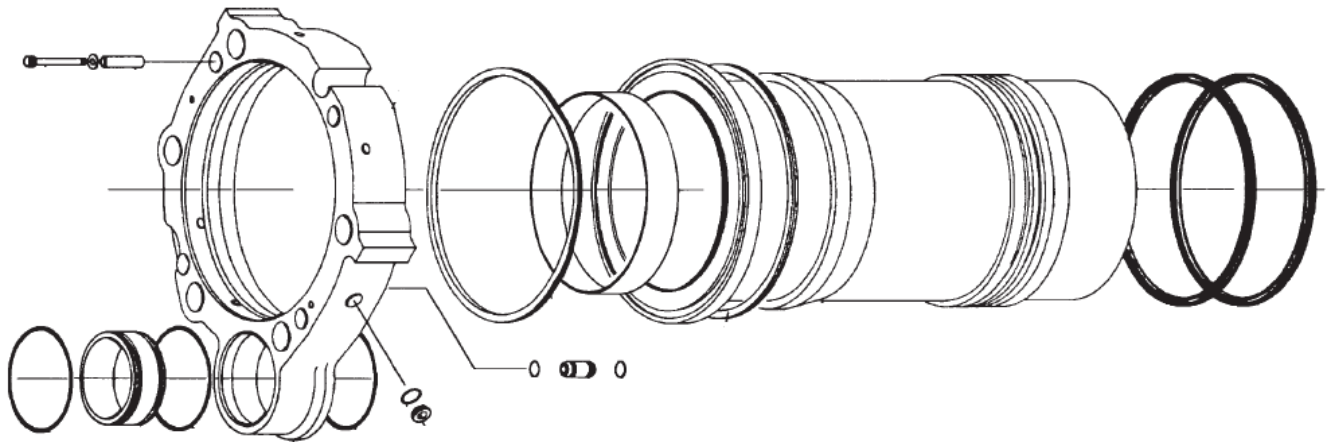


Рисунок 1.5 – Циліндрова втулка дизеля MAN серії L28/32 (ЧН 28/32)

Ущільнення порожнин охолодження втулки робочого циліндру від протікання рідини забезпечується круглими гумовими кільцями. Напрямний пояс блоку циліндрів дизеля MAN серії L28/32 оснащено спеціальним змінним проти-зносним кільцем. Циліндрова втулка дизеля MAN серії L28/32 має досить товсті стінки, що стабільно гарантує високу її жорсткість і зменшує ризик небажаної деформацій, що може порушити концентричність (правильність) внутрішнього кола втулки.

Циліндрові кришки дизеля MAN серії L28/32 виготовляють з чавуну за допомогою лиття (рис. 1.6). У циліндровій кришці дизеля MAN серії L28/32 розміщено чотири взаємозамінні впускні та випускні клапани, форсунка, а також запобіжний і індикаторний клапани. Вогневе днище циліндрової кришки дизеля MAN серії L28/32 має товсту стінку та каналне охолодження поверхні.

Розподільчий вал дизеля MAN серії L28/32 складається з кількох частин. Розташовується він у верхній частині фундаментної рами дизеля. Привід розподільчого валу дизеля MAN серії L28/32 відбувається через шестерний механізм. Цей механізм приводу дозволяє змінювати (регулювати) положення відомої шестерні відносно самого валу (рис. 1.7). Таке регулювання дає можливість встановлювати потрібний кут випередження впорскування циклової дози палива, що, в свою чергу, у значній мірі впливає на максимальний тиск згоряння у циліндрах дизеля.

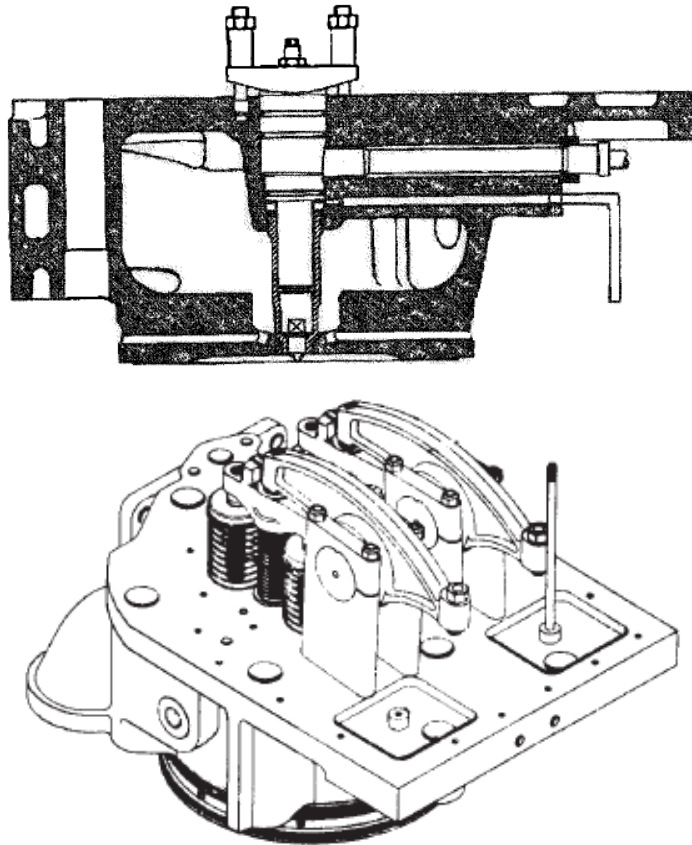


Рисунок 1.6 – Індивідуальна кришка робочого циліндра дизеля фірми MAN серії L28/32 (6ЧН 28/32)

Зміна тиску згоряння P_z в окремих циліндрах дизеля серії L28/32 може бути досягнуто шляхом додавання чи навпаки усування прокладок під роликовим приводом паливного насоса високого тиску (ПНВТ).

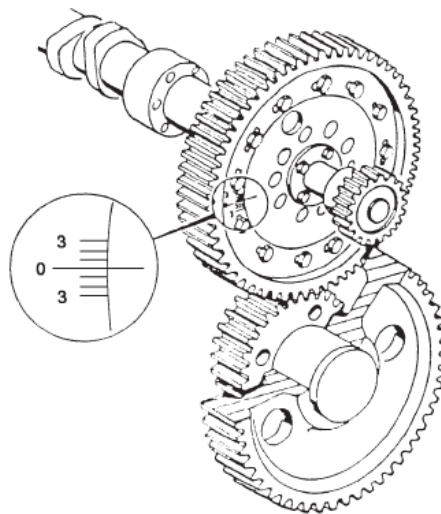


Рисунок 1.7 – Регульований шестерневий привід розподільного валу дизеля фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32)

Поршні дизелів MAN серії L28/32 мають моноблочну конструкцію з тонкими стінками. Таке рішення забезпечує досить низькі інерційні сили. Охолодження поршня дизелів MAN серії L28/32 здійснюється за допомогою змащувального масла. Масло до порожнин охолодження подається крізь шатун. Інтенсифікація процесу теплопередачі від нагрітої поверхні до масла досягається завдяки збовтуванню в голівці поршня під час його руху зворотно-поступово. Передача максимального тиску від робочого тіла через головку поршня до бобишок відбувається безпосередньо, минаючи бокове зусилля на спідницю (рис. 1.8).

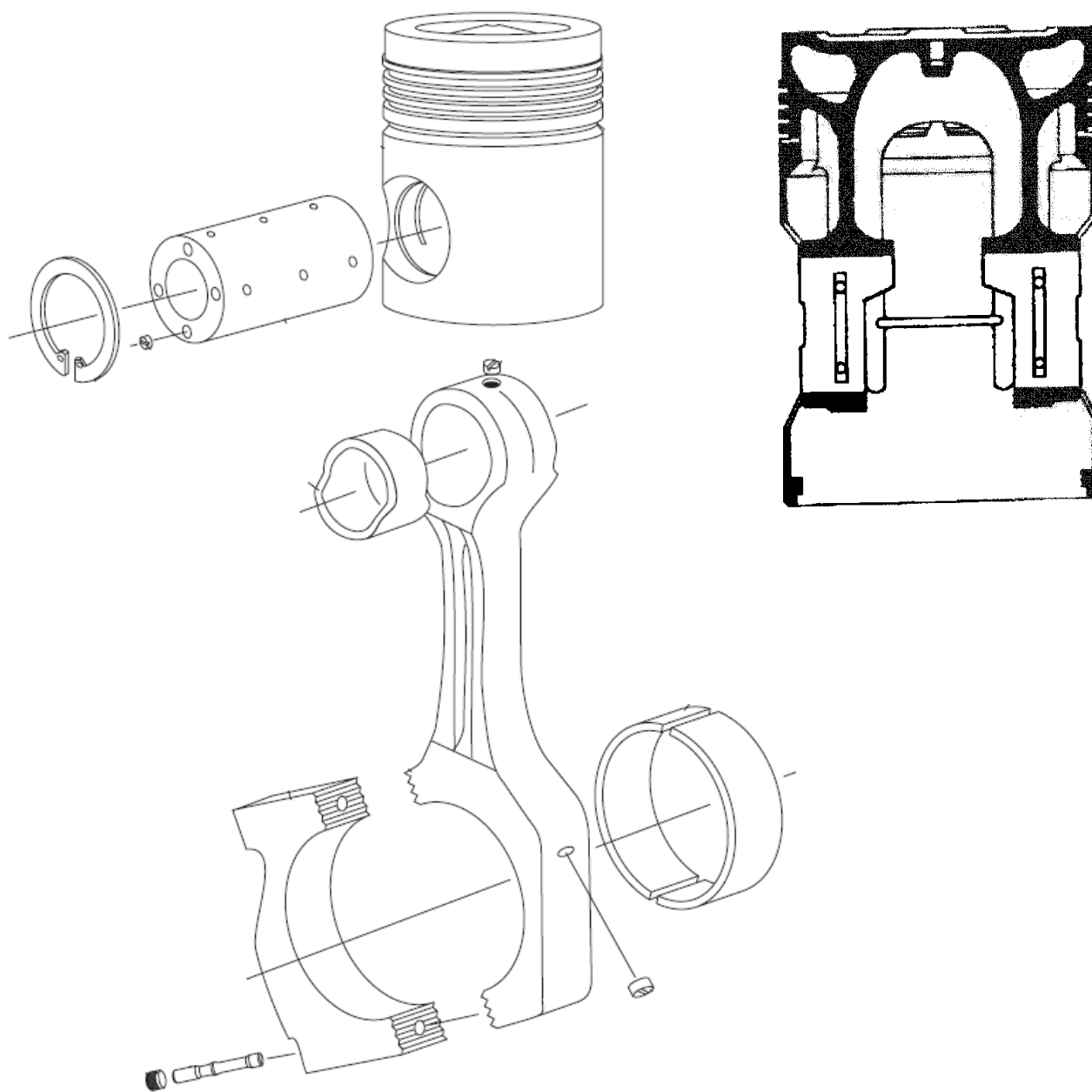


Рисунок 1.8 – Деталі руху дизеля фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32)

Таке конструктивне рішення реалізоване у поршнях дизелів MAN серії L28/32 запобігає можливій деформації спідниці поршня й дозволяє значно зменшити проміжок між нею та втулкою робочого циліндру. Така конструкція зменшує перекошування поршня дизеля у втулці робочого циліндру, знижує можливий витік газів та позитивно сприяє зменшенню витрати змащувального масла.

Зона розташування поршневих кілець, також звільняється від впливу тиску газів, що у свою чергу усуває деформацію і, як наслідок цього, можливе заклинювання поршневих кілець двигуна. Верхня бічна поверхня головки поршнів дизелів MAN серії L28/32 спеціально оброблена з урахуванням додаткової установки антиполірувального кільця у втулку робочого циліндру.

На поршні дизелів MAN серії L28/32 встановлено по три компресійних та одне маслознімне кільце. Робоча поверхня компресійних кілець дизелів MAN серії L28/32 має специфічну бочкоподібну форму та додатково покрита хромом.

Шатуни дизелів MAN серії L28/32 виготовляють зі сталі методом лиття (див. рис. 1.8). Перетин стрижня шатуна має форму двотавра. Нижня головка шатуна дизелів серії L28/32 оснащена косим роз'ємом. Така конструкція дозволяє виймати сам шатун у зборі з поршнем через втулку робочого циліндру дизеля.

Поверхня роз'єму шатунів дизелів MAN серії L28/32 має зубчасту форму, що у свою чергу запобігає можливому зсуву в площині роз'єму поверхонь та виникненню небажаних зрізних напружень у чотирьох болтах кріплення кришки шатуна. Вкладиші підшипника нижньої головки шатуна дизелів MAN серії L28/32 зроблені у три шари. Верхня головка шатуна дизелів MAN серії L28/32 зроблена також як і стрижень зі сталі. У неї запресовується бронзова втулка, яка і слугує підшипником.

Турбонаддув на дизелях MAN серії L28/32 реалізується на базі постійного тиску відпрацьованих газів. Загальна схема наддуву дизелів MAN серії L28/32 представлена на рис. 1.9. Корпус турбіни на дизелях MAN серії L28/32 не потребує охолодження. Це невілює ризик виникнення корозії корпусу. Підшипники ковзання розміщено між корпусами турбіни та відповідно повітряного компресора.

					<i>KPM.142.6221м.25.10.01.ПЗ</i>	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

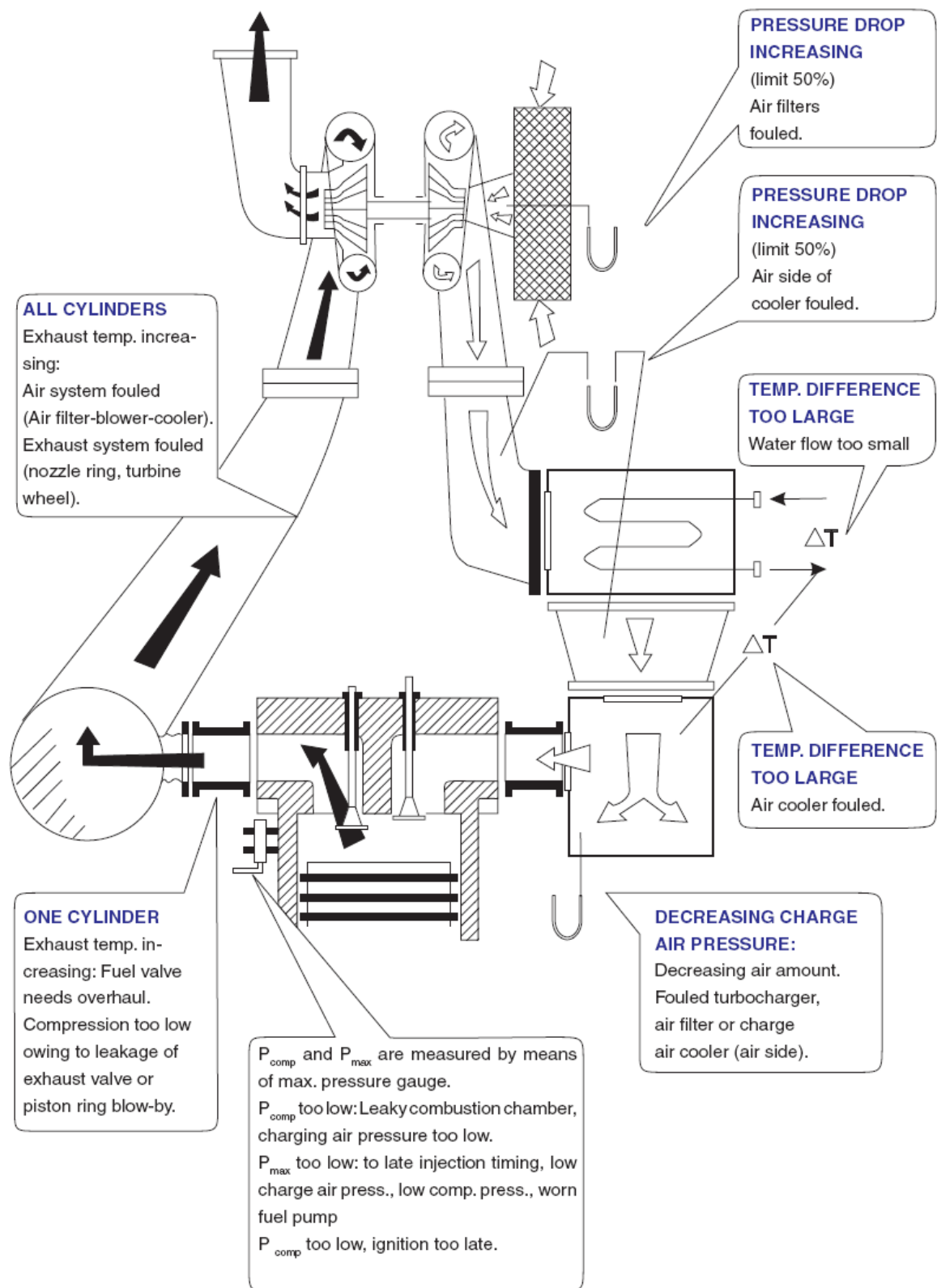


Рисунок 1.9 – Схема системи наддуву дизелів фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32)

Для забезпечення розгону турбіни в перехідних режимах роботи дизелів фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32) застосовується додаткова подача стисненого повітря на колесо повітряного компресора (так звана система Лямбда-контролер).

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.01.ПЗ

Аркуш

17

Паливна апаратура та система паливоподачі дизелів фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32) розроблена для роботи двигуна на важких сортах палива, які мають в'язкість до 700 сСт. Паливна система містить ПНВТ золотникового типу, що забезпечує регулювання подачі циклової дози палива на початку й у кінці циклу нагнітання. У ПНВТ є спеціальна камера низького тиску. Вона проходить навколо втулки плунжера ПНВТ, що забезпечує безперервне циркулювання підігрітого палива.

Така конструкція запобігає охолодженню ПНВТ під час пуску дизеля та значно покращує наповнення порожнини насоса паливом при наступному пуску двигуна. Крім того, додаткова циркуляція палива у порожнині запобігає газифікації палива та підтримує його стабільний температурний режим.

Нижня частина ПНВТ дизелів фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32) та сама плунжерна пара змащуються й ущільнюються за допомогою масла, що подається із системи змащення дизеля. Паливна форсунка дизелів фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32) має кілька розпилювальних отворів і охолоджується дизельним паливом (або у деяких двигунах термомасилом).

Новим конструктивним рішенням у дизелях фірми MAN серії L28/32 є застосування вставної, змінної втулки. Втулка вставляється в кришку робочого циліндра дизеля (див. рис. 1.6). Це значно покращує охолодження самого корпусу паливної форсунки і забезпечує її досить щільну та надійну посадку. Після здійснення запресовки змінної втулки в кришку робочого циліндра дизеля, посадкова поверхня під паливну форсунку додатково ще обробляється спеціальною розгорткою конічної форми. Така практика застосування змінної втулки добре зарекомендувала себе в дизелях двигунобудівної фірми Caterpillar. У разі виникнення витоків газів крізь посадкові місця виробником рекомендується замінити цю втулку.

Запуск і зупинка дизелів фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32) відбувається відразу на важкому паливі. Виробником двигунів не рекомендується переходити з важкого на легке дизельні пального через можливий ризик несумісності, що може трапитися під час змішення важкого сорту палива та легкого.

					<i>KPM.142.6221м.25.10.01.ПЗ</i>	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.2. Висновок до розділу

Суднові дизельні двигуни фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32) за своєю конструкцією та показниками ефективності роботи є досить сучасними, економічними та безперечно надійним двигунами, які цілком відповідає потребам застосування на судні. Поперечний розріз двигуна фірми MAN серії L28/32 (ЧН 28/32) у магістерській роботі представлено кресленням формату А1.

					<i>KPM.142.6221м.25.10.01.ПЗ</i>	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ТИПУ 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)

2.1. Основні задачі математичного моделювання робочого циклу ДВЗ

Тепловий розрахунок двигуна внутрішнього згоряння призначений для визначення основних параметрів газів (тиску та температури) у робочому процесі ДВЗ. Крім того тепловий розрахунок дозволяє отримати оціночні показники, що характеризують робочий цикл ДВЗ в цілому. Також тепловий розрахунок дозволяє визначити розміри ДВЗ, оцінити його вихідну індикаторну та ефективну (у разі відомого механічного ККД) потужність й економічні (питому ефективну витрату палива та ефективний ККД) показники. Адекватна реалізація термодинамічного розрахунку робочого процесу двигуна внутрішнього згоряння з урахуванням всієї складності процесів, великої сукупності різноманітних теплових втрат, пов'язаних, перш за все, з неповнотою і несвоєчасністю проходження процесу згоряння у робочому циліндрі, дисоціацією палива та тепловіддачею від робочого тіла в стінки камери згоряння, є досить складним завданням.

Проведення теплового розрахунку ДВЗ також дозволяє проаналізувати зв'язок між окремими складовими робочого процесу та отримати узагальнене уявлення щодо вплив різних важливих факторів на показники двигуна внутрішнього згоряння в цілому. Також за результатами теплового розрахунку ДВЗ визначається середній тепловий потік від робочого тіла в стінки циліндра двигуна.

2.2. Розрахунок номінального режиму роботи суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32)

Розрахунок у магістерській роботі виконується зі застосуванням програмного комплексу *Blitz-PRO*. Цей програмний комплекс було розроблено та реалізовано в національному університеті кораблебудування на кафедрі ДВЗ, У та ТЕ професором Д. С. Мінчевим. Програмний комплекс *Blitz-PRO* дозволяє користувачу виконувати, як дослідницькі так і інженерні розрахунки.

					<i>KPM.142.6221м.25.10.02.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

У програмний комплекс *Blitz-PRO* закладена математична модель, яка за своєю сутністю відноситься до класу термодинамічних математичних моделей у яких здійснюється розрахунок зміни параметрів робочого тіла у циліндрі, базуючись на вирішенні складної системи диференціальних рівнянь.

Варто відзначити, що сама методика була розроблена ще у 50-х роках минулого століття відомими вченими М. І. Глаголевим та Б. М. Гончаром. Однак із-за своєї складності у реалізації та трудомісткості розрахунків, що виконувалися у ручному режимі дана методика не знайшла широкого застосування. І лише з розвитком комп'ютерів ця методика знову набула своєї актуальності та затребуваності серед інженерів та науковців.

Для початку моделювання та в кінцевому результаті отримання потрібних результатів за допомогою програмного комплексу *Blitz-PRO*, потрібна коректно закласти усі вихідні дані двигуна та коефіцієнти, які необхідні для моделювання різних процесів (наприклад, процесу згоряння або теплообміну). У таблиці 2.1 представлено вихідні дані, що знадобляться для розрахунку робочого циклу суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32).

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку робочого циклу суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32)

№ з/п	Найменування параметру	Позначення та розмірність	Значення
1	Діаметр	D , м	0,280
2	Хід поршня	S , м	0,320
3	Кількість циліндрів	i_z , шт.	6
4	Частота обертання колінчатого валу	n , хв ⁻¹	720,00
5	Ефективна потужність	N_e , кВт	1380,00
6	Механічний ККД	η_m	0,9
7	Ступінь стискування	ε	15,00
8	Кривошипно-шатунне відношення	λ	0,240
9	Температура навколишнього повітря	T_0 , К	298,00
10	Тиск навколишнього середовища	P_0 , кПа	100,20
11	Втрата тиску в ОНП	ΔP_k , кПа	2,00
12	Опір вихлопної системи (ділянки від виходу з робочого колеса турбіни до зрізу вихлопної труби)	ΔP_t , кПа	2,00
13	Адіабатний ККД компресора	$\eta_{a.k}$	0,84

14	Адіабатний ККД турбіни	$\eta_{a.t}$	0,82
15	Механічний ККД турбокомпресора	$\eta_{m.tk}$	0,95
16	Температура води на вході в ОНП	$T_w^{ОНП1}$, К	297
17	ККД системи охолодження наддувочного повітря	η_{co}	0,950
18	Число циліндрів, об'єднаних спільною секцією випускного колектора	i_{zlk}	3,00
19	Відношення об'єму секції випускного колектора до робочого об'єму циліндра	$V_{в.к.}/V_s$	1,800
20	Константа імпульсності	Φ	1,100
21	Кут початку впорскування палива	$\varphi_{н.}^{вп.}$, град. п.к.в.	350,00
22	Тривалість уприскування палива	$\varphi_{впр.}$ град. п.к.в.	26,00
23	Кут відкриття випускного клапана	$\varphi_{о.}^{вип.}$, град. п.к.в.	492,00
24	Кут закриття випускного клапана	$\varphi_{з.}^{вип.}$, град. п.к.в.	30,00
25	Кут відкриття впускного клапана	$\varphi_{о.}^{вп.}$, град. п.к.в.	670,00
26	Кут закриття впускного клапана	$\varphi_{з.}^{вп.}$, град. п.к.в.	230,00
27	Тривалість відкривання впускного клапана	$\varphi_{п.о.}^{вп.}$, град. п.к.в.	90,00
28	Тривалість відкривання випускного клапана	$\varphi_{п.о.}^{вип.}$, град. п.к.в.	90,00
29	Тривалість закривання впускного клапана	$\varphi_{п.з.}^{вп.}$, град. п.к.в.	90,00
30	Тривалість закривання випускного клапана	$\varphi_{п.з.}^{вип.}$, град. п.к.в.	90,00
31	Діаметр впускного клапана	$d_{вп.}^{кл.}$, м	0,078
32	Кількість впускних клапанів	$n_{вп.}^{кл.}$	2,00
33	Діаметр випускного клапана	$d_{вип.}^{кл.}$, м	0,078
34	Кількість випускних клапанів	$n_{вип.}^{кл.}$	2,00
35	Висота підйому впускних клапанів	$h_{вп.}^{кл.}$, м	0,026
36	Кут конуса тарілки тарілки впускних клапанів	$\alpha_{вп.}^{кл.}$, град.	60
37	Висота підйому випускних клапанів	$h_{вип.}^{кл.}$, м	0,026
38	Кут конуса тарілки випускних клапанів	$\alpha_{вип.}^{кл.}$, град.	60
39	Коефіцієнт витрати для впускного клапана	$\mu_{вп.к.}$	0,830
40	Коефіцієнт витрати для випускного клапана	$\mu_{вип.к.}$	0,860
41	Пропускна здатність турбіни	μF_b , м ²	0,00852
42	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	A_i	0,0000038
43	Нижча теплота згоряння палива	Q_n , кДж/(кг·К)	42427,400
44	Щільність палива	ρ_p , кг/м ³	848,00
45	Цетанове число палива	—	45,00
46	Молекулярна маса палива	μ_p , кг/кмоль	220,00
47	Коефіцієнт поверхневого натягу палива	σ_p , Н/м	0,028
48	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	k_n	0,00016
49	Умовна енергія активації	E_a , кДж/кмоль	21000,00
50	Кількість соплових отворів форсунки	i_c	6,00
51	Діаметр соплових отворів форсунки	d_c , м	0,0003635
52	Коефіцієнт у формулі визначення середнього діаметра крапель	E_c	1,700
53	Відстань від розпилювача форсунки до сті-	L_{wall} , м	0,098

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.25.10.02.ПЗ

Аркуш

22

	нки камери згоряння		
54	Частка незгорілого палива	Δ_T	0,01
55	Товщина стінки втулки	$\Delta_s, \text{ м}$	0,024
56	Коефіцієнт термічного опору стінки втулки	$R_{\text{ствт}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,300
57	Коефіцієнт термічного опору стінки кришки	$R_{\text{сткр}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,300
58	Коефіцієнт термічного опору стінки поршня	$R_{\text{стпр}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,300
59	Довжина охолоджуваної частини втулки (у відсотках від ходу поршня)	$h_{\text{ов}}, \%$	100
60	Частка теплоти тертя, що відводиться з водою	$a_{\text{тр.}}^w$	0,780
61	Частка теплоти тертя, що відводиться з маслом	$a_{\text{тр.}}^m$	0,220
62	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки втулки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{вт}}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3,000
63	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки кришки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{кр}}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3,000
64	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки поршня до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{пр}}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	2,500
65	Середня температура води в сорочці двигуна	$T_w^{\text{вт}}, \text{ К}$	358,000
66	Середня температура води в кришці двигуна	$T_w^{\text{кр}}, \text{ К}$	358,000
67	Середня температура масла, що охолоджує поршень	$T_w^{\text{пр}}, \text{ К}$	373,000

Узагальнені результати розрахунків номінального режиму дизельного двигуна MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32) наводяться у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку робочого циклу суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32) для номінального режиму

№ з/п	Найменування параметру	Позначення та розмірність	Значення
1	Ефективна потужність ДВЗ	$N_e, \text{ кВт}$	1379,84
2	Питома ефективна витрата палива ДВЗ	$g_e, \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$	0,1740
3	Ступінь підвищення тиску в компресорі	Π_k	3,015
4	Тривалість згоряння	$\varphi_{\text{зг.}}, \text{ град.}$	86,81
5	Кут затримки займання палива	$\varphi_{\text{з.}}^{\text{восп.}}, \text{ град.}$	4
6	Кут початку видимого згоряння	$\varphi_{\text{н.}}^{\text{згор.}}, \text{ град.}$	354
7	Середній тиск впорскування всієї порції палива	$P_{\text{inj}}, \text{ МПа}$	83,341
8	Середній діаметр крапель	$d_{32}, \text{ мкм}$	12,036
9	Кут, під яким факел досягає стінок камери згоряння	$\varphi_{\text{wall}}, \text{ град.}$	15
10	Тривалість взаємодії факела зі стінками камери згоряння	$\varphi_{\text{fr}}, \text{ град.}$	10
11	Максимальний тиск згоряння	$P_z, \text{ кПа}$	19028,95

12	Максимальна температура згоряння	T_z , К	1765,66
13	Середній індикаторний тиск	P_i , кПа	2161,42
14	Середній ефективний тиск	P_e , кПа	1945,28
15	Тиск повітря в ресивері	P_s , кПа	300,11
16	Температура повітря в ресивері	T_s , К	303,63
17	Тиск суміші наприкінці стиснення	P_c , кПа	9875,91
18	Температура суміші наприкінці стиснення	T_c , К	750,37
19	Середня температура газів перед турбіною	T_b , К	653,7
20	Середній тиск газів перед турбіною	P_b , кПа	251,3
21	Середня температура газів за турбіною	T_{zt} , К	615,6
22	Температура газів у момент відкриття випускного клапана	T_b , К	838,5
23	Тиск газів у момент відкриття випускного клапана	P_b , кПа	901,3
24	Температура наддувного повітря	T_k , К	429,5105
25	Температура залишкових газів	T_r , К	327,74
26	Тепло, відведене у воду	Q_w , кВт	179,5
27	Тепло, відведене в масло	Q_m , кВт	60,6
28	Тепло, що відводиться в ОНП від стиснутого повітря	$Q_w^{ОНП}$, кВт	335,7
29	Тепло, що втрачається з ВГ	$Q_w^{ВГ}$, кВт	914,4
30	Витрата повітря через компресор	G_k , кг/с	2,5394
31	Витрата газу через газову турбіну	G_b , кг/с	2,6021
32	Потужність турбіни газової турбіни	N_{et} , кВт	335,4595
33	Потужність компресора	N_{ek} , кВт	335,7580
34	Коефіцієнт залишкових газів	γ_r	0,0301
35	Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	α	2,47
36	Коефіцієнт продувки	φ_a	1,079

Результатом виконаного розрахунку робочого циклу за допомогою комплексу *Blitz-PRO* суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32) також є отримані графічні залежності зміни параметрів роботи двигуна на номінальному режимі, які наведено на рисунках 2.1–2.4

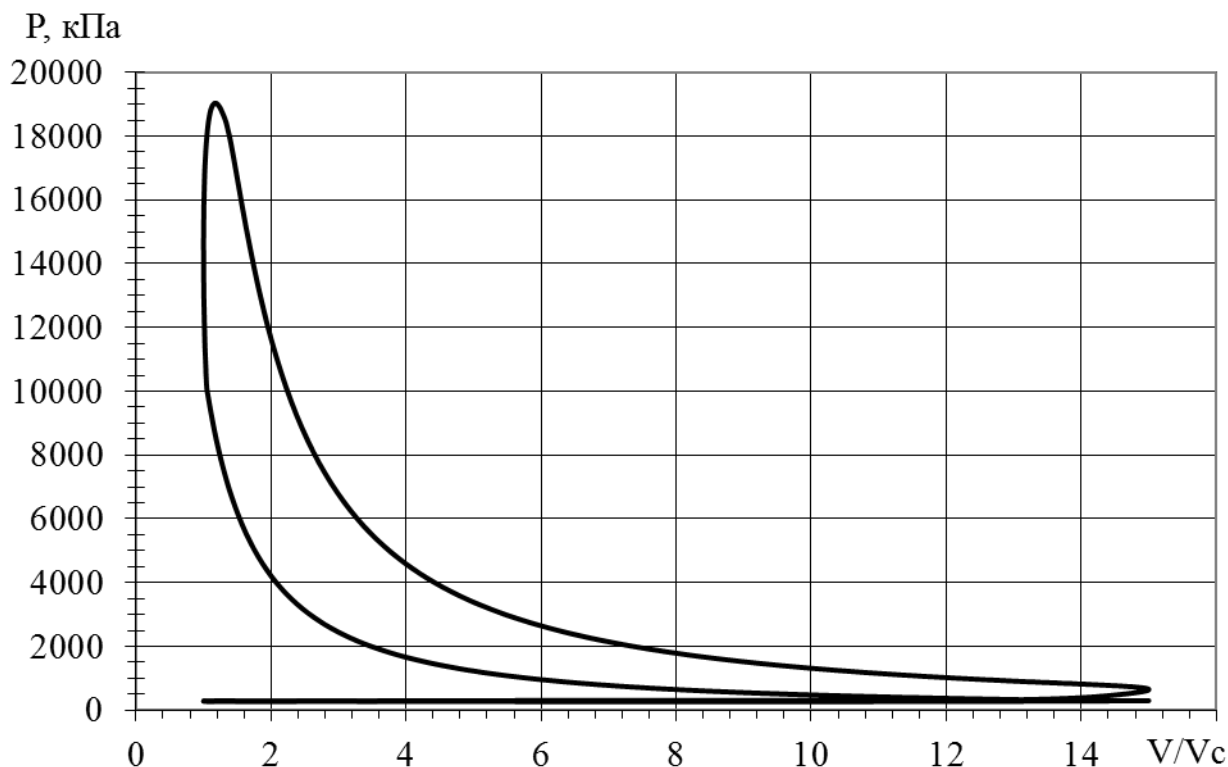


Рисунок 2.1 – Згорнута індикаторна діаграма дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32), яка відповідає номінальному режиму

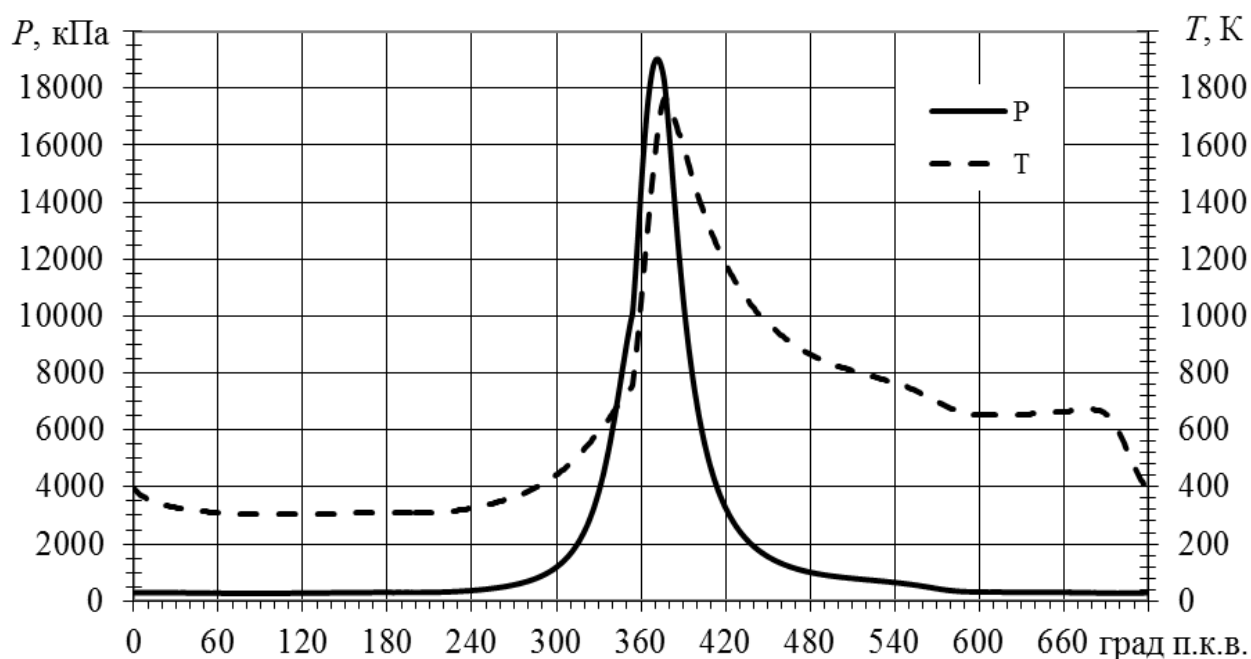


Рисунок 2.2 – Розгорнута індикаторна діаграма та діаграма зміни температури робочого тіла дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32), яка відповідає номінальному режиму

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221м.25.10.02.ПЗ

Аркуш

25

Елементарна робота газів у циліндрі $L_i = f(\text{град. п.к.в.})$

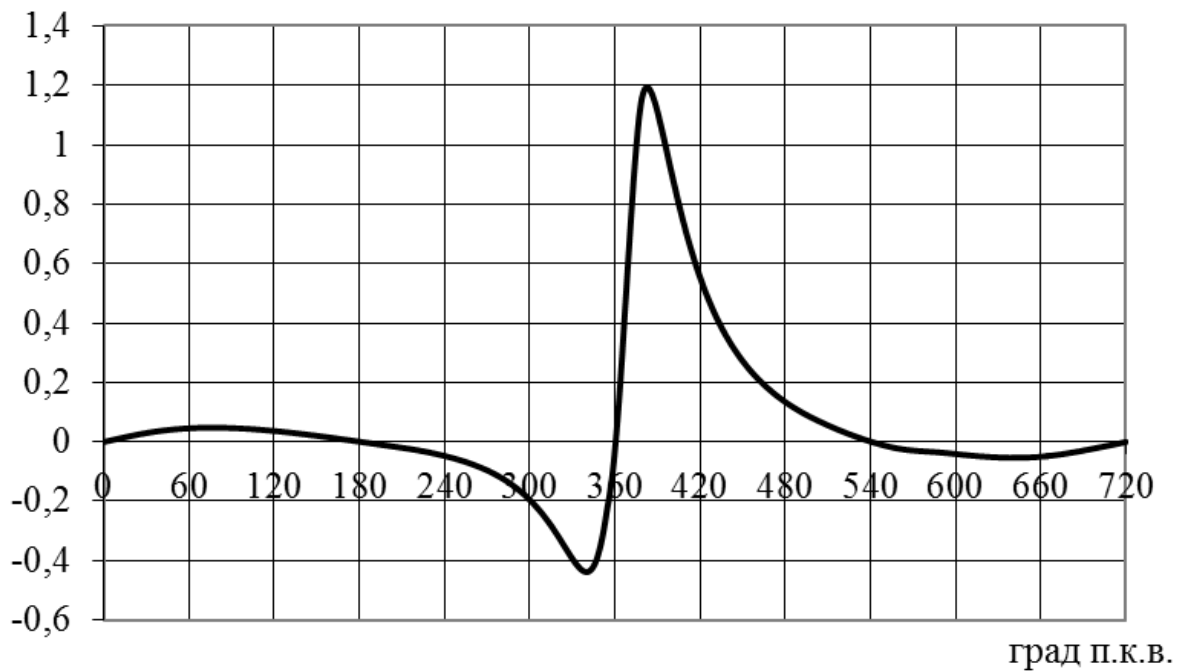


Рисунок 2.3 – Зміна елементарної роботи газів у циліндрі дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32), яка відповідає номінальному режиму

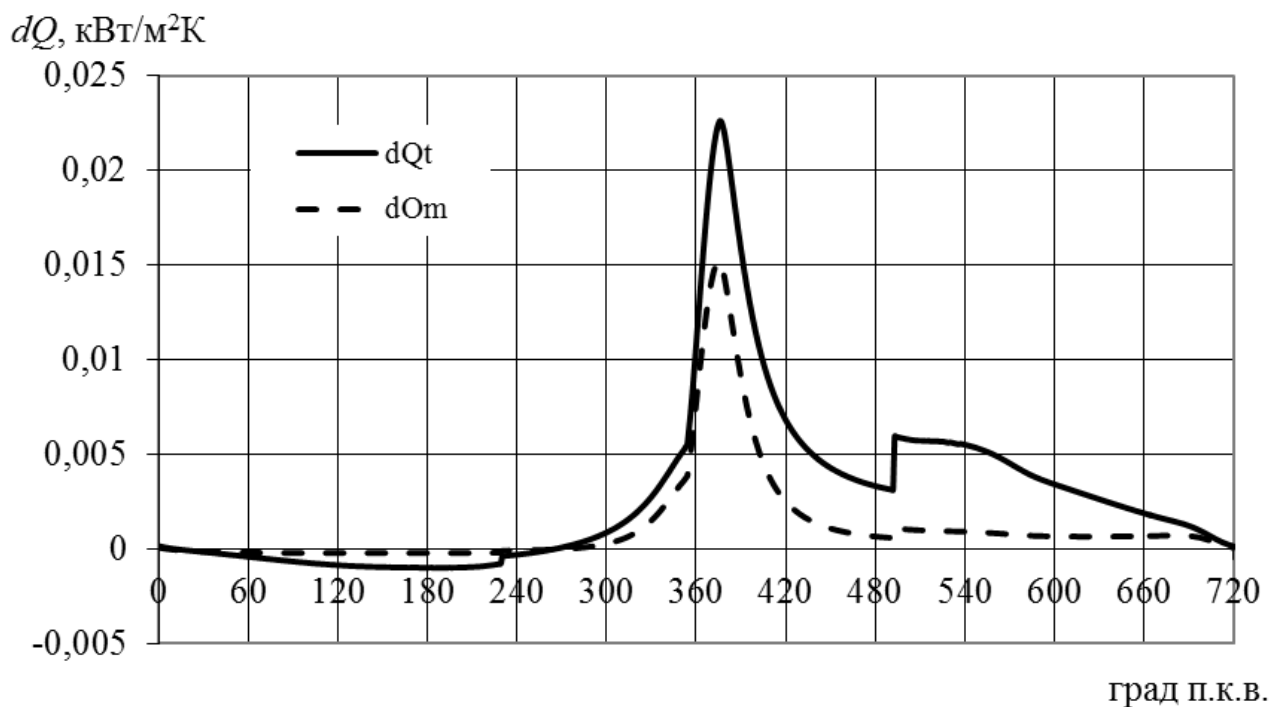


Рисунок 2.4 – Втрати тепла у воду і масло дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32), яка відповідає номінальному режиму

2.3. Розрахунок динаміки дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32)

Виконання динамічного розрахунку потрібне для визначення сил, що діють на деталі двигуна при перетворенні в ньому хімічної енергії палива в механічну роботу (у вигляді крутного моменту). Динамічний розрахунок для суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32) також виконується для номінального режиму роботи. Вихідні дані для виконання такого розрахунку беруться з теплового розрахунку, що наведений вище.

Інші вихідні дані такі, як маси рухомих деталей (поршнева, шатунна група деталей та група деталей колінчастого валу), довжина шатуна та розміри кривошипа, кількість та компонування робочих циліндрів, а також інші вихідні дані беруться з паспортних даних дизеля-прототипу і з креслення повздовжнього перетину двигуна.

Результати динамічного розрахунку дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32) представлено у табличній (табл. 2.3) та графічній (рис. 2.5–2.8). формах.

Таблиця 2.3 – Результати динамічного розрахунку дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32)

ϕ град	S_ϕ м	V_ϕ м/с	J_ϕ м/с ²	P_i кПа	P_r кПа	P_d кПа	N кПа	Z кПа	T кПа	T_Σ кПа	T_{cp}^Σ кПа	Z_1 кПа
0	0,0000	0,00	986,90	-2967,29	287,00	-2680,29	0,24	-2680,29	1,23	454,85	2062,41	-587,18
5	0,0008	1,14	980,97	-2949,46	290,11	-2659,35	-55,64	-2644,38	-287,20	1552,93	2062,41	-551,27
10	0,0030	2,27	963,29	-2896,31	291,35	-2604,96	-108,65	-2546,52	-559,34	2984,25	2062,41	-453,40
15	0,0067	3,37	934,19	-2808,82	291,67	-2517,15	-156,65	-2390,84	-802,78	4209,15	2062,41	-297,72
20	0,0119	4,42	894,22	-2688,63	291,25	-2397,37	-197,45	-2185,27	-1005,47	4616,99	2062,41	-92,16
25	0,0184	5,43	844,11	-2537,96	290,14	-2247,82	-229,17	-1940,38	-1157,64	4205,96	2062,41	152,73
30	0,0263	6,37	784,77	-2359,57	288,27	-2071,30	-250,36	-1668,64	-1252,44	3546,62	2062,41	424,48
35	0,0353	7,24	717,30	-2156,68	285,75	-1870,93	-260,02	-1383,46	-1286,09	2908,09	2062,41	709,65
40	0,0454	8,03	642,87	-1932,91	283,02	-1649,89	-257,60	-1098,33	-1257,84	2409,24	2062,41	994,79
45	0,0565	8,73	562,80	-1692,16	280,18	-1411,98	-243,14	-826,52	-1170,33	2087,88	2062,41	1266,60
50	0,0685	9,33	478,44	-1438,52	277,48	-1161,05	-217,16	-579,98	-1028,98	1936,76	2062,41	1513,13
55	0,0812	9,84	391,20	-1176,21	275,04	-901,18	-180,69	-368,90	-841,83	1922,99	2062,41	1724,21
60	0,0946	10,24	302,47	-909,43	272,92	-636,51	-135,25	-201,15	-618,85	1999,87	2062,41	1891,97
65	0,1083	10,54	213,61	-642,26	271,15	-371,11	-82,70	-81,90	-371,29	2114,68	2062,41	2011,22
70	0,1224	10,73	125,92	-378,60	269,75	-108,85	-25,20	-13,56	-110,91	2213,29	2062,41	2079,56
75	0,1367	10,83	40,61	-122,09	268,74	146,65	34,95	4,20	150,70	2247,36	2062,41	2097,32
80	0,1511	10,83	-41,25	124,03	268,12	392,15	95,39	-25,83	402,76	2177,32	2062,41	2067,29
85	0,1654	10,74	-118,71	356,91	267,89	624,80	153,84	-98,77	635,84	1978,09	2062,41	1994,34
90	0,1795	10,56	-190,98	574,20	268,03	842,24	208,22	-208,18	842,25	1645,14	2062,41	1884,93
95	0,1933	10,30	-257,44	774,04	268,54	1042,59	256,71	-346,56	1016,26	1201,95	2062,41	1746,56
100	0,2067	9,96	-317,66	955,11	269,40	1224,51	297,86	-505,91	1154,21	713,07	2062,41	1587,21

105	0,2196	9,56	-371,38	1116,62	270,58	1387,20	330,60	-678,30	1254,41	289,45	2062,41	1414,82
110	0,2319	9,11	-418,50	1258,31	272,06	1530,37	354,27	-856,25	1316,96	68,49	2062,41	1236,87
115	0,2436	8,60	-459,11	1380,40	273,81	1654,21	368,65	-1033,13	1343,48	96,48	2062,41	1059,99
120	0,2546	8,04	-493,43	1483,58	275,79	1759,37	373,86	-1203,37	1336,81	454,85	2062,41	889,74
125	0,2648	7,46	-521,81	1568,93	277,98	1846,91	370,34	-1362,63	1300,57	0,00	0,00	730,49
130	0,2742	6,84	-544,74	1637,86	280,34	1918,19	358,80	-1507,76	1238,89	0,00	0,00	585,35
135	0,2828	6,20	-562,76	1692,05	282,81	1974,86	340,10	-1636,85	1156,06	0,00	0,00	456,27
140	0,2905	5,54	-576,50	1733,37	285,35	2018,72	315,23	-1748,98	1056,26	0,00	0,00	344,14
145	0,2974	4,86	-586,61	1763,76	287,90	2051,66	285,17	-1844,12	943,32	0,00	0,00	249,00
150	0,3034	4,18	-593,75	1785,21	290,29	2075,50	250,91	-1922,83	820,61	0,00	0,00	170,29
155	0,3084	3,49	-598,53	1799,60	292,45	2092,05	213,33	-1986,14	690,95	0,00	0,00	106,97
160	0,3126	2,80	-601,56	1808,71	294,35	2103,05	173,25	-2035,43	556,65	0,00	0,00	57,68
165	0,3158	2,10	-603,34	1814,06	296,01	2110,07	131,37	-2072,13	419,41	0,00	0,00	20,98
170	0,3181	1,40	-604,30	1816,94	297,47	2114,42	88,24	-2097,59	280,45	0,00	0,00	-4,48
175	0,3195	0,70	-604,75	1818,28	298,80	2117,08	44,34	-2112,87	140,54	0,00	0,00	-19,76
180	0,3200	0,00	-604,87	1818,66	299,97	2118,63	0,05	-2118,63	0,15	0,00	0,00	-25,51
185	0,3195	-0,70	-604,75	1818,28	297,26	2115,54	-44,21	-2111,36	-140,14	0,00	0,00	-18,24
190	0,3182	-1,40	-604,30	1816,95	300,50	2117,45	-88,27	-2100,64	-280,55	0,00	0,00	-7,52
195	0,3158	-2,10	-603,35	1814,07	300,94	2115,02	-131,58	-2077,05	-420,10	0,00	0,00	16,07
200	0,3126	-2,80	-601,57	1808,72	300,53	2109,25	-173,67	-2041,50	-558,00	0,00	0,00	51,61
205	0,3085	-3,49	-598,54	1799,63	300,61	2100,24	-214,08	-1994,01	-693,37	0,00	0,00	99,11
210	0,3034	-4,18	-593,76	1785,24	302,17	2087,41	-252,26	-1933,97	-825,03	0,00	0,00	159,15
215	0,2974	-4,86	-586,63	1763,82	305,95	2069,76	-287,61	-1860,52	-951,36	0,00	0,00	232,59
220	0,2906	-5,54	-576,53	1733,44	312,99	2046,44	-319,48	-1773,14	-1070,49	0,00	0,00	319,97
225	0,2828	-6,20	-562,80	1692,15	323,04	2015,19	-346,98	-1670,44	-1179,41	0,00	0,00	422,67
230	0,2742	-6,84	-544,78	1637,99	335,78	1973,77	-369,13	-1551,64	-1274,54	0,00	0,00	541,48
235	0,2648	-7,46	-521,87	1569,09	350,95	1920,04	-384,95	-1416,79	-1351,84	0,00	0,00	676,33
240	0,2546	-8,04	-493,49	1483,78	368,81	1852,59	-393,62	-1267,35	-1407,42	0,00	0,00	825,76
245	0,2436	-8,60	-459,19	1380,64	389,80	1770,44	-394,52	-1105,95	-1437,69	0,00	0,00	987

375	0,0067	3,36	934,26	-2809,04	18657,97	15848,93	985,67	15054,75	5051,19	0,00	0,00	17147,87
380	0,0119	4,42	894,31	-2688,92	16424,40	13735,48	1130,68	12521,54	5757,85	0,00	0,00	14614,66
385	0,0184	5,43	844,22	-2538,31	13314,36	10776,05	1098,19	9303,40	5547,61	0,00	0,00	11396,52
390	0,0262	6,37	784,91	-2359,98	10602,61	8242,63	995,96	6641,35	4982,51	0,00	0,00	8734,46
395	0,0353	7,24	717,45	-2157,14	8459,44	6302,30	875,64	4661,17	4331,19	0,00	0,00	6754,29
400	0,0454	8,03	643,03	-1933,40	6814,12	4880,71	761,87	3249,88	3720,22	0,00	0,00	5343,00
405	0,0565	8,73	562,97	-1692,68	5558,53	3865,85	665,57	2263,61	3203,73	0,00	0,00	4356,72
410	0,0685	9,33	478,62	-1439,07	4596,70	3157,62	590,49	1577,93	2798,11	0,00	0,00	3671,05
415	0,0812	9,84	391,39	-1176,78	3853,74	2676,97	536,67	1096,36	2500,43	0,00	0,00	3189,48
420	0,0945	10,24	302,66	-909,99	3273,96	2363,97	502,25	747,52	2298,22	0,00	0,00	2840,64
425	0,1083	10,54	213,80	-642,82	2816,60	2173,78	484,37	480,16	2174,71	0,00	0,00	2573,28
430	0,1224	10,73	126,10	-379,16	2451,90	2072,74	479,78	258,54	2111,77	0,00	0,00	2351,66
435	0,1367	10,83	40,78	-122,62	2158,09	2035,47	485,05	58,76	2091,64	0,00	0,00	2151,88
440	0,1511	10,83	-41,08	123,52	1919,12	2042,64	496,84	-134,12	2097,91	0,00	0,00	1959,00
445	0,1654	10,74	-118,55	356,44	1723,04	2079,48	512,01	-328,34	2116,26	0,00	0,00	1764,77
450	0,1794	10,56	-190,83	573,76	1560,86	2134,62	527,73	-527,24	2134,74	0,00	0,00	1565,88
455	0,1932	10,30	-257,31	773,64	1425,75	2199,39	541,56	-730,69	2143,99	0,00	0,00	1362,43
460	0,2066	9,96	-317,54	954,75	1312,48	2267,23	551,52	-936,33	2137,24	0,00	0,00	1156,78
465	0,2195	9,56	-371,27	1116,30	1217,02	2333,32	556,10	-1140,55	2110,16	0,00	0,00	952,56
470	0,2319	9,11	-418,41	1258,03	1136,19	2394,22	554,29	-1339,23	2060,58	0,00	0,00	753,88
475	0,2435	8,60	-459,03	1380,16	1067,51	2447,67	545,53	-1528,36	1988,17	0,00	0,00	564,76
480	0,2545	8,05	-493,36	1483,38	1009,00	2492,38	529,68	-1704,43	1894,05	0,00	0,00	388,68
485	0,2648	7,46	-521,76	1568,76	959,08	2527,84	506,95	-1864,74	1780,38	0,00	0,00	228,38
490	0,2742	6,84	-544,69	1637,73	916,49	2554,21	477,84	-2007,45	1650,00	0,00	0,00	85,67
495	0,2828	6,20	-562,73	1691,95	880,13	2572,08	443,04	-2131,63	1506,00	0,00	0,00	-38,51
500	0,2905	5,54	-576,48	1733,29	848,70	2582,00	403,27	-2236,80	1351,32	0,00	0,00	-143,68
505	0,2974	4,87	-586,60	1763,71	820,82	2584,53	359,34	-2322,92	1188,68	0,00	0,00	-229,81
510	0,3034	4,18	-593,73	1785,17	795,33	2580,50	312,06	-2390,54	1020,63	0,00	0,00	-297,42
515	0,3084	3,49	-598,52	1799,58	771,32	2570,90	262,26	-2440,64	849,46	0,00	0,00	-347,52
520	0,3126	2,80	-601,56	1808,69	748,04	2556,73	210,74	-2474,43	677,09	0,00	0,00	-381,32
525	0,3158	2,10	-603,34	1814,05	724,83	2538,89	158,17	-2493,18	505,00	0,00	0,00	-400,06
530	0,3181	1,40	-604,30	1816,94	701,12	2518,06	105,20	-2497,98	334,34	0,00	0,00	-404,87
535	0,3195	0,70	-604,74	1818,28	676,36	2494,64	52,36	-2489,66	165,95	0,00	0,00	-396,54
540	0,3200	0,00	-604,87	1818,66	650,00	2468,66	0,16	-2468,66	0,52	0,00	0,00	-375,55
545	0,3195	-0,70	-604,75	1818,28	621,55	2439,83	-50,88	-2435,03	-161,27	0,00	0,00	-341,91
550	0,3182	-1,40	-604,30	1816,95	590,52	2407,47	-100,26	-2388,39	-318,64	0,00	0,00	-295,28
555	0,3158	-2,10	-603,35	1814,08	556,45	2370,53	-147,38	-2328,04	-470,52	0,00	0,00	-234,92
560	0,3126	-2,79	-601,57	1808,74	518,98	2327,72	-191,56	-2253,03	-615,46	0,00	0,00	-159,92
565	0,3085	-3,49	-598,55	1799,65	477,86	2277,51	-232,05	-2162,41	-751,57	0,00	0,00	-69,29
570	0,3034	-4,18	-593,77	1785,28	435,00	2220,29	-268,24	-2057,20	-877,24	0,00	0,00	35,92
575	0,2974	-4,86	-586,65	1763,87	396,81	2160,68	-300,16	-1942,38	-992,86	0,00	0,00	150,73
580	0,2906	-5,54	-576,55	1733,52	365,73	2099,25	-327,65	-1819,06	-1097,83	0,00	0,00	274,06
585	0,2828	-6,20	-562,83	1692,25	343,13	2035,38	-350,39	-1687,36	-1190,96	0,00	0,00	405,76
590	0,2742	-6,84	-544,82	1638,12	328,67	1966,79	-367,77	-1546,34	-1269,78	0,00	0,00	546,77
595	0,2648	-7,45	-521,92	1569,25	320,45	1889,70	-378,82	-1394,60	-1330,24	0,00	0,00	698,51
600	0,2546	-8,04	-493,56	1483,98	315,92	1799,90	-382,38	-1231,53	-1367,19	0,00	0,00	861,59
605	0,2436	-8,59	-459,27	1380,88	313,18	1694,06	-377,46	-1058,47	-1375,49	0,00	0,00	1034,65
610	0,2319	-9,10	-418,69	1258,87	311,29	1570,16	-363,43	-878,97	-1350,89	0,00	0,00	1214,15
615	0,2196	-9,56	-371,59	1117,27	309,87	1427,14	-340,08	-698,27	-1290,27	0,00	0,00	1394,85
620	0,2067	-9,96	-317,91	955,84	308,77	1264,61	-307,59	-522,90	-1191,82	0,00	0,00	1570,22
625	0,1933	-10,29	-257,71	774,85	307,89	1082,74	-266,59	-360,29	-1055,27	0,00	0,00	1732,83
630	0,1795	-10,55	-191,27	575,09	307,15	882,24	-218,11	-218,40	-882,17	0,00	0,00	1874,72
635	0,1654	-10,74	-119,03	357,87	306,47	664,34	-163,58	-105,28	-676,03	0,00	0,00	1987,83
640	0,1512	-10,83	-41,59	125,05	305,74	430,79	-104,79	-28,54	-442,43	0,00	0,00	2064,57

645	0,1368	-10,83	40,25	-121,02	304,86	183,85	-43,82	5,20	-188,92	0,00	0,00	2098,31
650	0,1225	-10,73	125,55	-377,50	303,71	-73,79	17,08	-9,16	75,18	0,00	0,00	2083,96
655	0,1084	-10,54	213,23	-641,13	302,15	-338,98	75,55	-74,67	339,17	0,00	0,00	2018,45
660	0,0946	-10,24	302,09	-908,29	300,05	-608,24	129,27	-191,97	591,45	0,00	0,00	1901,15
665	0,0813	-9,84	390,82	-1175,09	297,38	-877,71	176,03	-358,96	820,07	0,00	0,00	1734,16
670	0,0686	-9,34	478,08	-1437,42	294,31	-1143,11	213,87	-570,59	1013,34	0,00	0,00	1522,52
675	0,0566	-8,73	562,45	-1691,10	290,88	-1400,23	241,21	-819,14	1160,95	0,00	0,00	1273,97
680	0,0455	-8,04	642,54	-1931,92	287,17	-1644,75	256,92	-1094,37	1254,42	0,00	0,00	998,75
685	0,0353	-7,25	716,99	-2155,77	283,34	-1872,43	260,37	-1384,01	1287,75	0,00	0,00	709,10
690	0,0263	-6,38	784,50	-2358,76	279,65	-2079,10	251,47	-1674,38	1257,92	0,00	0,00	418,74
695	0,0185	-5,44	843,87	-2537,26	276,53	-2260,73	230,67	-1951,01	1165,18	0,00	0,00	142,10
700	0,0119	-4,43	894,02	-2688,05	274,66	-2413,39	198,97	-2199,43	1013,19	0,00	0,00	-106,32
705	0,0068	-3,37	934,04	-2808,38	274,94	-2533,43	157,89	-2405,95	809,08	0,00	0,00	-312,84
710	0,0030	-2,27	963,19	-2896,01	277,93	-2618,07	109,43	-2559,09	563,33	0,00	0,00	-465,97
715	0,0008	-1,14	980,92	-2949,31	282,70	-2666,61	56,03	-2651,48	289,20	0,00	0,00	-558,36
720	0,0000	-0,004	986,8971	-2967,290	286,9975	-2680,293	0,2384	-2680,293	1,2318	0,0000	0,0000	-587,177

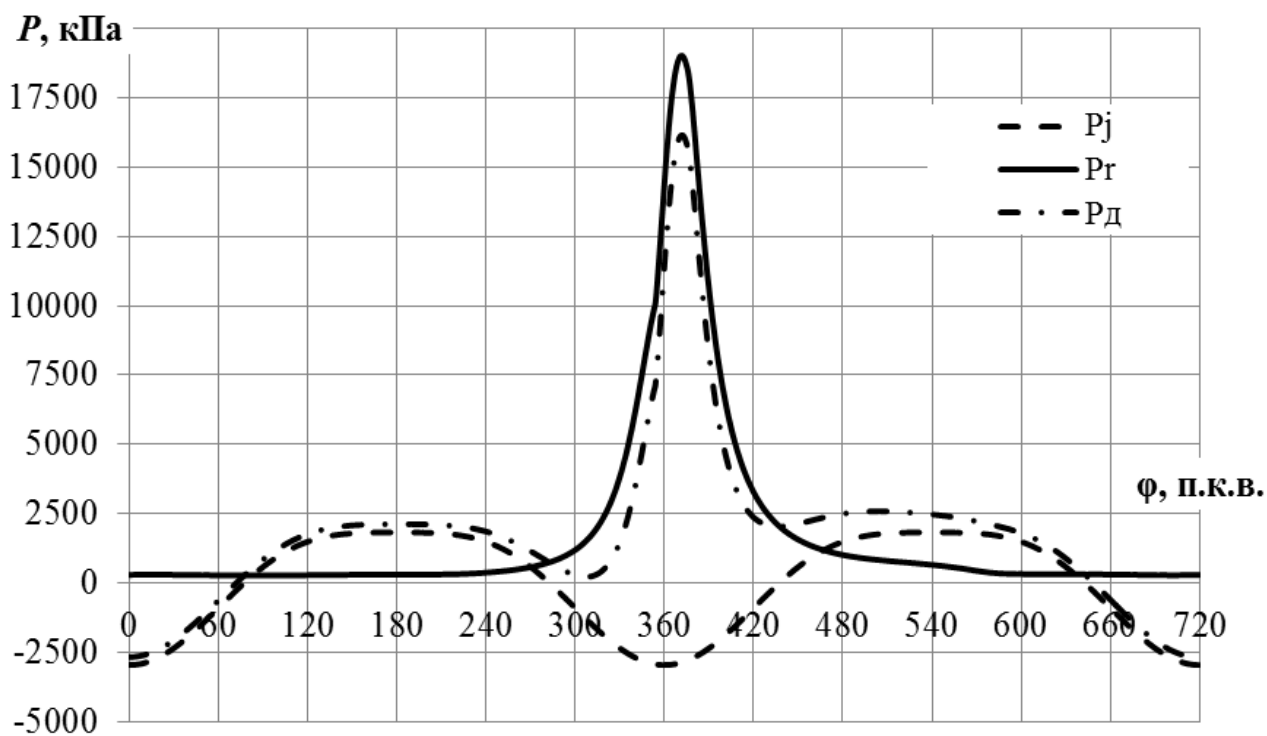


Рисунок 2.5 – Сили тиску газів P_r , інерції P_j та рушійної сили P_{dv}

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.02.ПЗ

Аркуш

30

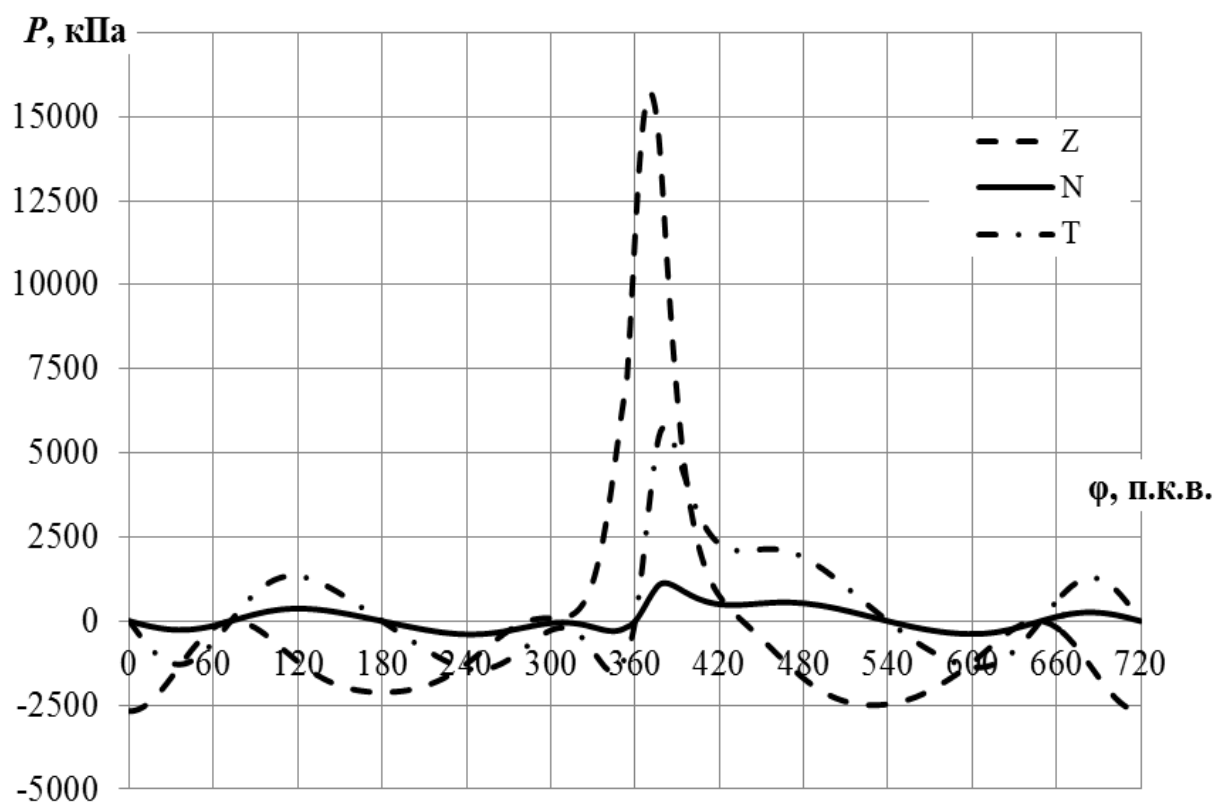


Рисунок 2.6 – Бічна сила N , радіальна Z та тангенціальна T

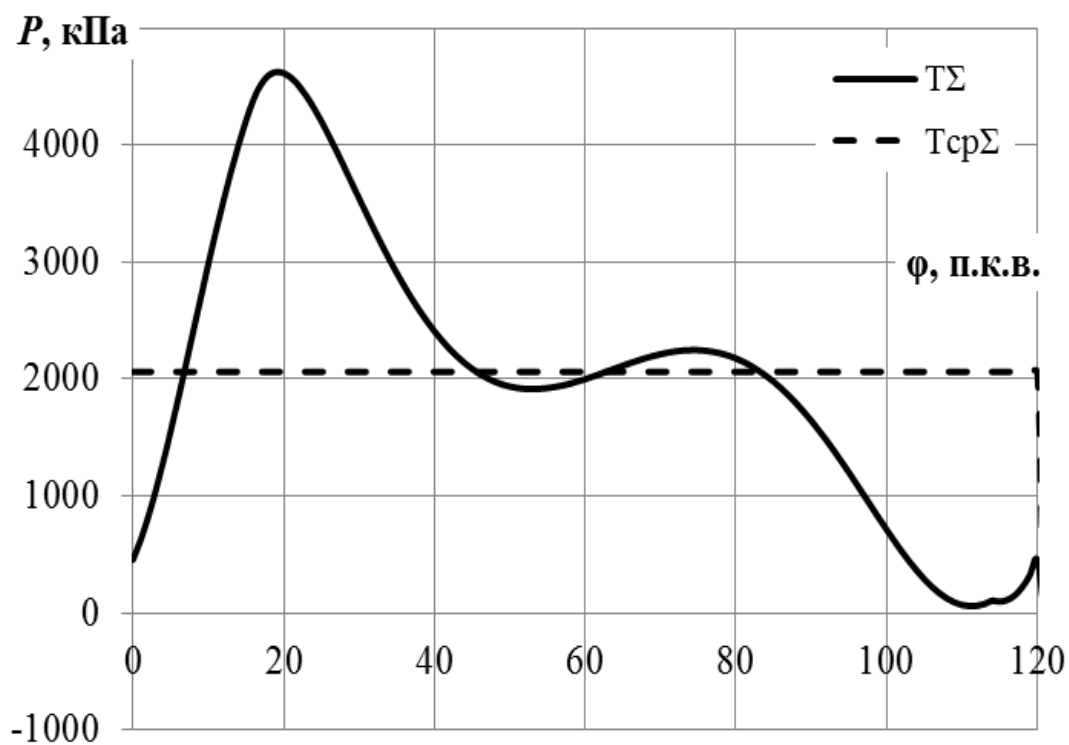


Рисунок 2.7 – Сумарна дотична сила $T_{\text{сум}}$, середня дотична $T_{\text{сум}}^{\text{сер}}$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.02.ПЗ

Аркуш

31

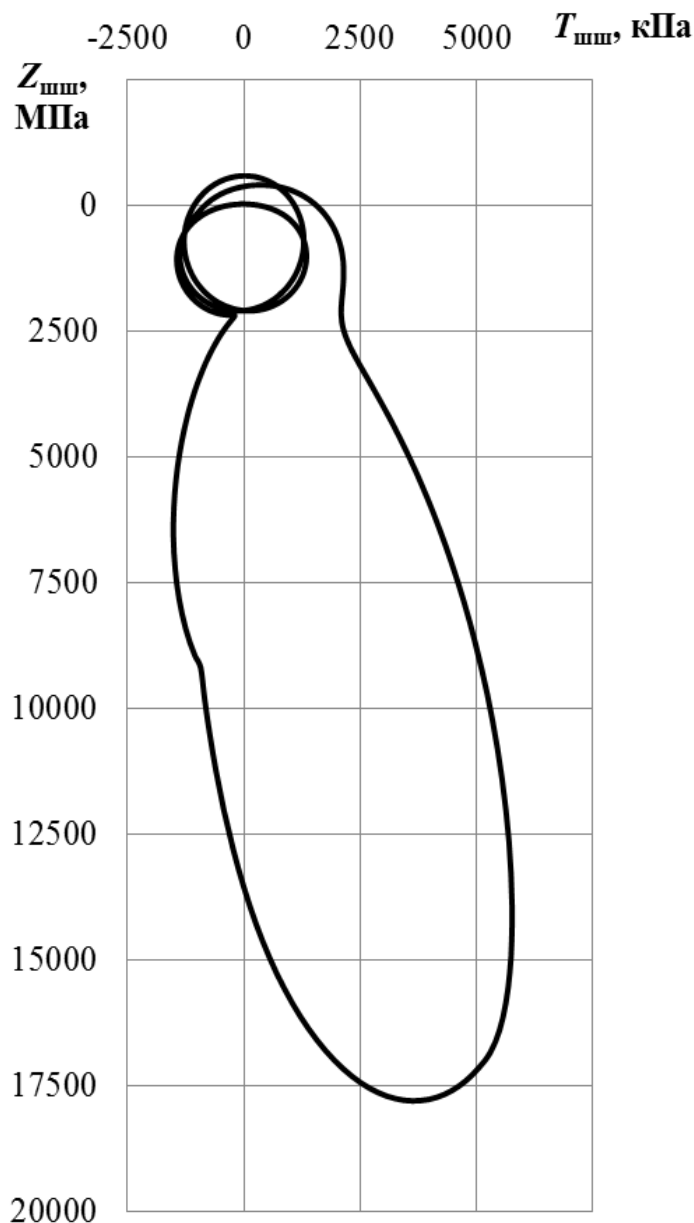


Рисунок 2.8 – Полярна діаграма навантажень на мотилеву шийку

2.4. Висновок до розділу

У розділі виконано моделювання робочого циклу дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32) на номінальному режимі роботи з використанням математичної моделі, яка відноситься до класу термодинамічних математичних моделей у яких здійснюється розрахунок зміни параметрів робочого тіла у циліндрі, базуючись на вирішенні складної системи диференціальних рівнянь. Результати виконаного моделювання є базою для виконання подальшої модернізації дизеля.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.02.ПЗ

Аркуш

32

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ СУДНОВОГО ДВИГУНА ТИПУ 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)

3.1. Аналіз загальних закономірностей, які визначають динаміку процесу впорскування палива в дизелях

Отримання високоефективного робочого процесу в дизелі вимагає, щоб розпилене паливо надходило в циліндр відповідно до певної закономірності, від якої значною мірою залежать поточні величини концентрації палива в різних точках факела і дрібність його розпилення. Дані великих досліджень робочого процесу двигунів, проведених Н. Р. Бріллінгом, Д. Н. Вирубовим, Н. Н. Іванченком, М. Г. Кругловим, Ю. Б. Свиридовим, М. С. Ховахом та ін., свідчать про те, що повнота і динаміка процесу горіння знаходяться в тісному зв'язку з характеристикою впорскування палива в циліндр і закономірністю виділення теплоти при горінні. Дослідні дані також показують, що процес горіння не закінчується одночасно з припиненням подачі палива. В області робочих режимів дизелів до моменту закінчення подачі згорає приблизно половина всього впорснутого палива, решта згорає після. Це явище впливає на робочий процес тим сильніше, чим більше форсований двигун.

Звідси впливає необхідність розробки способів зміни в бажаному напрямку характеристик впорскування і швидкісних характеристик паливних систем на режимах роботи двигуна.

Існування глибокого внутрішнього зв'язку між дрібністю розпилення і розподілом концентрації розпиленого палива в факелі з характеристиками подачі стає особливо чітко помітним при форсуванні дизелів, коли в більшості випадків змінюються щільність повітря в циліндрі, швидкісні режими двигуна і паливної системи, величини циклової подачі палива та ін. Це призводить до зміни тисків впорскування, характеристики впорскування і швидкісних характеристик, що в свою чергу викликає зміну дрібності розпилення і концентрації палива в факелі розпиленого струменя, часто не відповідають вимогам економічної і надійної роботи дизеля в нових умовах. Пошук можливих шляхів отримання необхідних характеристик впорскування

					КРМ.142.6221м.25.10.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

слід проводити на основі аналізу загальних закономірностей, що визначають динаміку процесу впорскування палива.

Критерії оцінки процесу подачі палива. В якості критеріїв, що характеризують процес впорскування, зазвичай використовують максимальний тиск впорскування $p_{\max}$ і тривалість впорскування в градусах кута повороту кулачкового валика насоса $\varphi_{\text{впор}}$ або (рідше) в частках секунди $t_{\text{впор}}$ (рис. 3.1, *а*). Початкова точка відповідає моменту перекриття плунжером всмоктувальних вікон в гільзі (геометричному початку подачі), а кут $\varphi_{\text{зап}}$ визначає динамічне запізнювання впорскування.

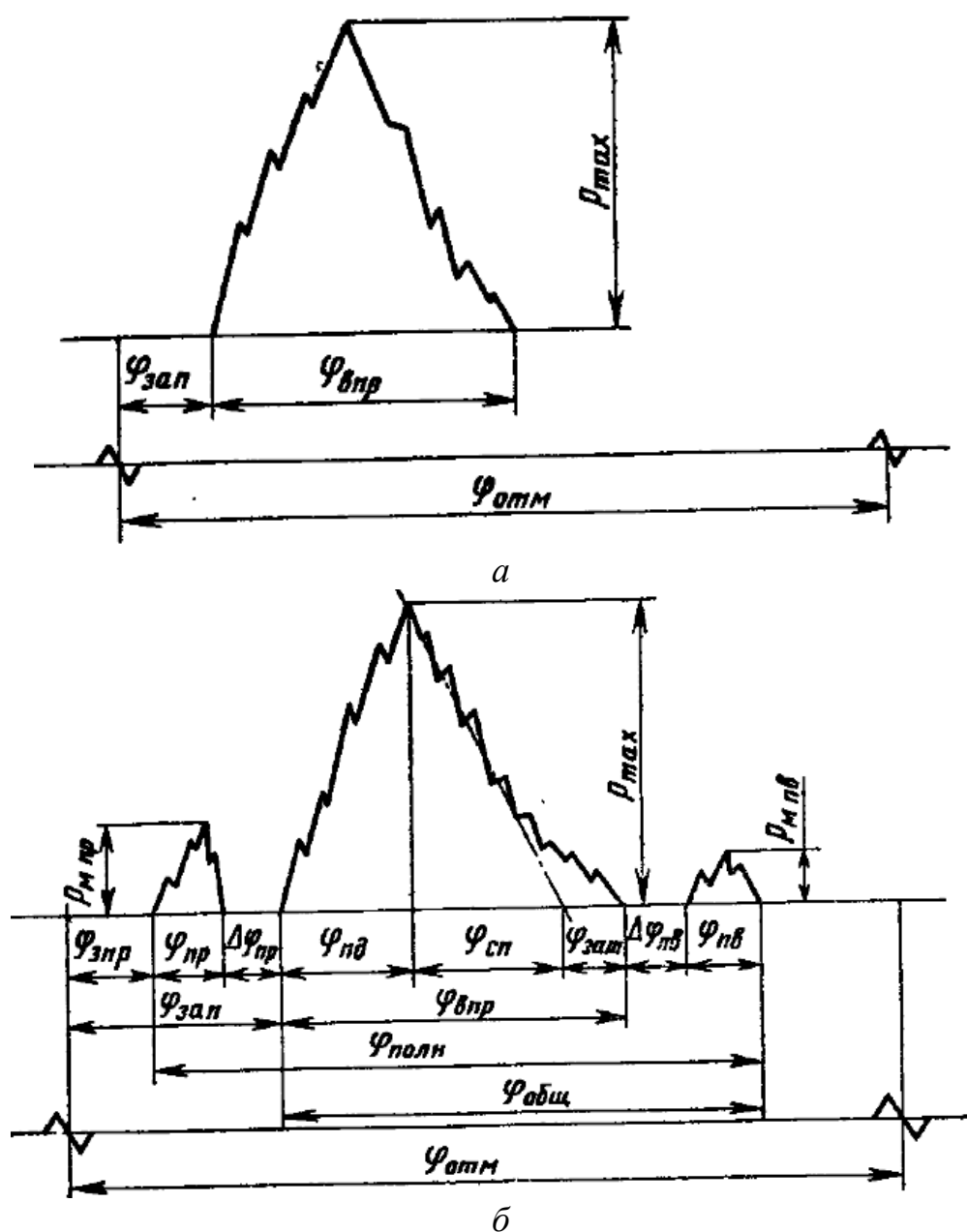


Рисунок 3.1 – Параметри циклу впорскування:

а – звичайний; *б* – з попереднім і додатковим впорскуванням

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.03.ПЗ

Аркуш

34

Сучасні тенденції до зменшення жорсткості робочого процесу форсованих дизелів ставлять завдання вдосконалення форми кривої, що визначає залежність зміни тиску впорскування в часі, а отже, і характеристики впорскування. Для оцінки цієї залежності потрібно ввести нові додаткові критерії, які повинні характеризувати нахили ліній при підвищенні і зниженні тиску під час процесу впорскування.

Для оцінки кривої тисків впорскування (рис. 3.1, б) вже недостатньо двох критеріїв, згаданих вище. На цій кривій тисків впорскування помітні характерні ділянки попереднього і додаткового впорскування, а також плавний (затягнутий) спад лінії тиску поблизу нульової лінії. На ділянках підйому, $\varphi_{\text{під}}$ і спаду $\varphi_{\text{сп}}$ нахили кривої можна оцінити відношенням $\Delta p / \Delta \varphi$. При відокремленому попередньому впорскуванні розрив між попереднім і основним впорскуванням оцінюється величиною $\Delta \varphi_{\text{пр}}$. Ділянку попереднього впорскування (або ступінчастого, якщо при переході від попереднього до основного впорскування ордината весь час, більше нуля) можна характеризувати найбільшою ординатою $p_{\text{мпр}}$ і тривалістю $\varphi_{\text{тр}}$. Наступна потім ділянка основного впорскування характеризується максимальним тиском впорскування $p_{\text{тах}}$ і тривалістю $\varphi_{\text{впор}}$.

У деяких паливних системах (головним чином з відкритими і напівзакритими форсунками) лінія спаду тисків в області, близькій до осі абсцис, знижується дуже плавно, що свідчить про видавлювання з форсунки погано розпиленого палива.

У цьому випадку доцільно оцінити ділянку, що відповідає затягуванню кінця впорскування, наступним чином.

Лінія спаду тисків апроксимується похилою прямою, від місця перетину якої з віссю абсцис і до кінця основного періоду впорскування вимірюється тривалість затягування впорскування $\varphi_{\text{зат}}$. Підвпорскування описується найбільшим тиском $p_{\text{мпр}}$ і тривалістю $\varphi_{\text{впор}}$. Загальну тривалість основного впорскування і підвпорскування позначають $\varphi_{\text{заг}}$. І нарешті, повну тривалість впорскування, що включає попереднє і основне впорскування, підвпорскування, а також інтервали між ними позначають $\varphi_{\text{пов}}$. Найбільший тиск основного впорскування $p_{\text{тах}}$. На аналогічні ділянки (за тривалістю подачі) може бути розділена характеристика впорскування палива.

					КРМ.142.6221м.25.10.03.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Важливим критерієм процесу впорскування є кількість палива σ_{ti} , поданого за період індукції τ_i . Кут запізнювання займання ϕ_{ti} відповідний τ_i на даному режимі роботи дизеля, можна відкласти по абсцисі сумарної кривої подачі. Тоді ордината точки кривої буде відповідати величині τ_i на даному режимі.

До числа параметрів, за допомогою яких оцінюють процес впорскування палива, необхідно також віднести ті, які визначають стабільність (або рівномірність) роботи паливної системи. В даний час термін «стабільність роботи паливної системи» використовується для позначення неоднакових понять. Зазвичай цим словом характеризують збіг результатів декількох послідовних вимірювань продуктивності як окремих секцій, так і всієї паливної системи, що працює на одному і тому ж режимі. Під стабільністю роботи паливної системи також мають на увазі здатність системи зберігати свої параметри після тривалої експлуатації, наприклад після закінчення гарантійного терміну служби. Цим же терміном позначається і здатність системи зберігати продуктивність при зміні зовнішніх умов або фізичних властивостей палива.

Ідентичність циклів впорскування, що слідують один за одним, також часто визначають як стабільність.

Отже, при вживанні поняття «стабільність роботи паливної системи» обов'язково потрібно вказувати, який саме вид стабільності мається на увазі. При порівнянні стабільності циклів впорскування у всіх перерахованих вище випадках найбільш повну інформацію можна отримати тоді, коли крім усереднених величин порівняння проводиться і за перерахованими вище параметрами кривої тисків впорскування. Слід зазначити, що оцінка стабільності за результатами порівняння параметрів одиничних кривих тисків впорскування в деяких випадках може призвести до помилкових висновків, якщо паливний апарат забезпечує ідентичність циклів впорскування, що йдуть один за одним.

Аналіз факторів, що визначають вплив паливопроводу високого тиску на процес подачі палива. Оскільки в даний час на дизелях застосовують досить міцні і жорсткі паливопроводи високого тиску, їх основними параметрами можна вважати внутрішній діаметр і довжину. При дослідженні паливної системи типу ТН було встановлено, що зі зменшенням внутрішнього діаметра паливопроводу високого ти-

ску не завжди знижується циклова подача палива. Найбільша подача цієї системи була досягнута при деякому оптимальному для даної системи значенні внутрішнього діаметра паливопроводу.

Існування максимумів на кривих залежності тиску впорскування і подачі від прохідного перетину паливопроводу високого тиску підтверджують криві рис. 3.2.

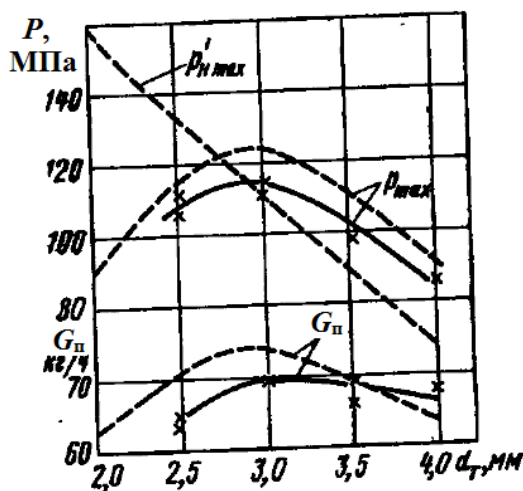


Рисунок 3.2 – Зміна p_{max} , $p'_{n max}$ та G_n в залежності від діаметра трубопроводу:

----- розрахункове; ————— експериментальне

Зі збільшенням або зменшенням внутрішнього діаметра паливопроводу відносно оптимального його значення на процес впорскування переважний вплив має або зниження динамічного напору, або зростання гідравлічного опору. Збільшення втрат у паливопроводі при зменшенні його внутрішнього діаметра або підвищенні в'язкості палива проявляється також і в більш інтенсивному загасанні відбитих хвиль тиску, в результаті чого можна скоротити або навіть усунути підвприск палива. У зв'язку з цим положення максимумів на кривих і діаметр паливопроводу, при якому немає підприскування, також залежать від в'язкості застосовуваного палива.

3.2. Особливості роботи гідравлічно-керованих елементів паливної системи дизелів

До гідравлічно керованих елементів паливної системи відносяться нагнітальні клапани паливних насосів, голки закритих і кулькові клапани напівзакритих форсунок, клапани в трійниках розгалужених паливних систем та ін.

Вплив гідравлічно керованих елементів на процес впорскування палива і швидкісні характеристики паливної системи визначається миттєвими значеннями прохідних перерізів, а також обсягами палива, що витісняється в процесі переміщення цих елементів. В результаті використання особливостей впливу гідравлічно-керованих елементів на перебіг процесу впорскування палива були створені різні конструкції цих елементів паливної системи. Звідси випливає, що вивчення закономірностей переміщення гідравлічно керованих елементів паливної системи може відкрити шлях до здійснення спрямованої зміни їх конструкції з метою отримання необхідної характеристики даної паливної системи.

Значна увага приділялася розробці конструкцій нагнітальних клапанів, що мають істотний вплив на характеристики впорскування. У зв'язку з цим доцільно систематизувати існуючі нагнітальні клапани за ознакою їх впливу на характеристики впорскування. Такій вимозі відповідає поділ існуючих типів клапанів на наступні п'ять груп (з урахуванням конструктивних особливостей клапанів):

- клапани, що не мають розвантажувальної дії;
- клапани, що мають розвантажувальну дії;
- клапани, що пропускають (після посадки на сідло), хвилі що відбуваються;
- коректуючі клапани;
- клапани, що формують ступінчасте впорскування.

Особливості впливу нагнітальних клапанів на характеристики вприскування паливних систем значною мірою визначаються закономірностями переміщення клапанів паливної системи.

3.3. Модернізація конструкції паливного насоса високого тиску

У існуючих секцій паливних насосів високого тиску застосовуються досить складні прецизійні пристрої – клапани нагнітання, призначені для здійснення нагнітання палива під тиском в надплунжерну порожнину, забезпечення досить різкого припинення подачі палива форсункою. Конструктивно розрізняють нагнітальні клапани таких типів: грибкового типу, золотникового та подвійної дії.

Нагнітальний клапан грибкового типу містить клапан, сідло, пружину та натискний штуцер, яким весь клапан притиснуто до торця втулки плунжера насосу, ущільнення між клапаном та втулкою здійснюється за рахунок дуже трудомісткого й точного виготовлення контактуючих площин, що мають дуже високу чистоту обробки. Конічна (або запірна) частина нагнітального клапана, розвантажувальний пояс, а також сідло клапана є по суті прецизійними деталями. Пружина нагнітального клапана утворює зусилля на сам клапан до 1 МПа.

При здійсненні процесу подачі палива плунжерною парою, нагнітальний клапан піднімається і пропускає порцію палива у паливопровід високого тиску до форсунки. При відсіканні паливоподачі тиск під нагнітальним клапаном падає. Під дією тиску нагнітальний клапан сідає своєю конусною запірною частиною в гніздо, роз'єднуючи тим самим надплунжерну порожнину насоса та порожнини трубопроводу високого тиску й паливну форсунку.

Нагнітальний клапан подвійної дії має два клапани – запірний та розвантажувальний. При відсіканні подачі палива запірний клапан перекриває паливопровід, а розвантажувальний клапан, у свою чергу, пропускає частину палива з нього у надплунжерний простір насосу. Кількість цього палива і, відповідно, залишковий тиск у паливопроводі високого тиску та паливній форсунці обумовлюється жиклером й зусиллям встановленої натискної пружини.

Модернізована конструкція електрокерованої паливної секції ПНВТ двигуна типу 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) представлена на рис. 3.3.

У верхній частині корпусу 1 електрокерованої секції ПНВТ розміщено електрокерований клапан 2, призначений для з'єднання або роз'єднання лінії палива високого тиску (для подачі до паливної форсунки) з надплунжерною порожниною. У паливному штуцері 3 розташовано стабілізатор 4, притиснутий пружиною 5 і зафіксований упором 6, що встановлено в порожнину паливного штуцера 3 за допомогою запресування. З торцевої сторони електрокерованої секції ПНВТ встановлено електромагніт 7, що являє собою нерозбірну складальну одиницю для управління електрокеруваним клапаном.

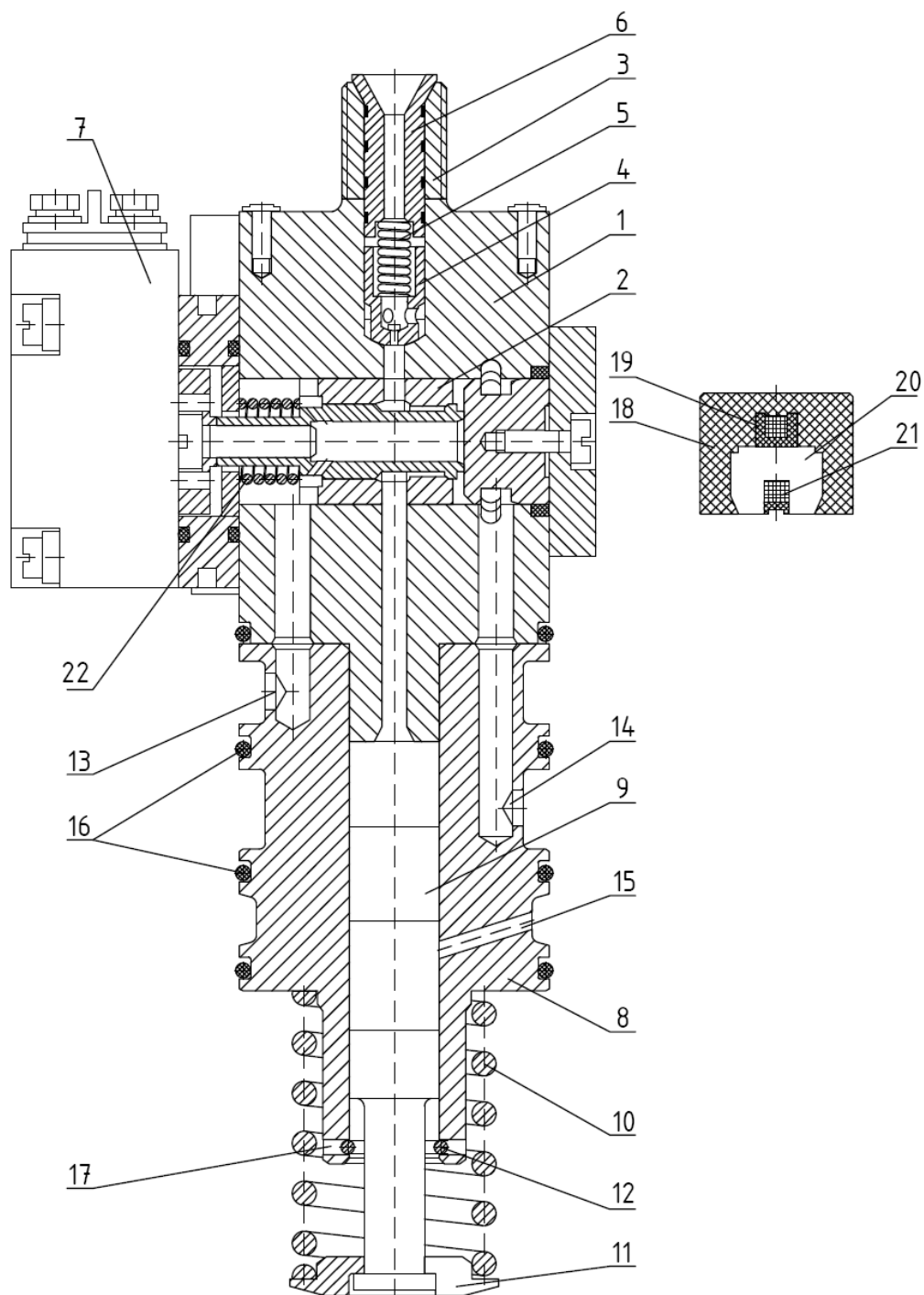


Рисунок 3.3 – Модернізована конструкція електрокерованої паливної секції ПНВТ двигуна типу 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32):

1 – корпусу; 2 – електрокерований клапан; 3 – паливний штуцер; 4 – стабілізатор; 5 – пружина; 6 – упор; 7 – електромагніт; 8 – корпус насоса; 9 – плунжер; 10 – пружина; 11 – тарілка; 12 – стопорне кільце; 13 – порожнина підводу палива; 14 – порожнина відведення палива; 15 – порожнина для зливу дренажного палива; 16 – ущільнювальне гумове кільце; 17 – наскрізний отвір; 18 – корпусу електромагніту; 19 – каркас; 20 – сердечник; 21 – котушка

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.03.ПЗ

Аркуш

40

У нижній частині корпусу насосу 8 розташовано плунжер 9, призначений для нагнітання палива в відповідну порожнину електрокерованого клапана, пружина 10, тарілка 11, а також стопорне кільце 12. Також в нижній частині електрокерованої секції ПНВТ двигуна розташовані порожнини підводу 13 й відведення 14 палива, а також порожнина для зливу дренажного палива 15. Усі зазначені порожнини розділені між собою спеціальними ущільнювальними гумовими кільцями 16. Два спеціальні наскрізні отвори 17 призначені для зняття стопорного кільця 12.

Електромагніт 7 складається з корпусу 18, всередині якого розташовані котушка 21, намотана на каркасі 19, і сердечник 20. Особливістю цього електромагніту 7 є те, що він виконаний з П-подібним сердечником 20 і з поперечно намотаною котушкою 21.

Працює модернізована електрокерована секція паливного насосу високого тиску дизеля 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) наступним чином. Електромагніт нагнітального клапана 7 при подачі керуючого сигналу забезпечує закриття клапана 2 і роз'єднує лінію високого і низького тиску палива. Відкриття клапана 2 здійснюється під впливом зворотної пружини 22 після припинення подачі керуючого сигналу на електромагніт нагнітального клапана 7. У процесі зростання тиску палива в надплунжерній порожнині насосу паливо діє на стабілізатор 4, який починає потроху підніматися і паливо проходить крізь отвори цього стабілізатора 4 (сумарний діаметр прохідного перерізу отворів стабілізатора відповідає діаметру або більше прохідного перерізу трубопроводу високого тиску палива). Далі паливо поступає крізь наскрізний отвір в упорі безпосередньо в трубопровід високого тиску. Після закінчення подачі палива стабілізатор 4 опускається під дією зворотної пружини 5.

Для запобігання підприскуванню у модернізованому насосі на торці стабілізатора передбачено спеціальний отвір, діаметр якого може змінюватись від 0,35 мм до 2,00 мм залежно від потреби, що висуваються до електрокерованої паливної секції ПНВТ. Через цей отвір скидається надлишковий тиск палива за стабілізатором у трубопроводі високого тиску палива, що унеможлиблює саму можливість появи хвильових явищ, і як наслідок цього призводить тільки до точної та контрольованої подачі палива паливною форсункою.

					КРМ.142.6221м.25.10.03.ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Модернізована конструкція електрокерованої паливної секції ПНВТ двигуна типу 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) забезпечує надійну роботу дизеля та технологічність виготовлення самої секції насосу.

Результатом модернізації штатної конструкції паливного насоса високого тиску дизельного двигуна типу 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) є:

- значне підвищення ефективності робочого процесу дизеля 6ЧН 28/32, а також збільшення терміну його експлуатації за рахунок застосування стабілізатора подачі палива;

- значно спрощення конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ та знижується трудомісткість (фактично вартості) виготовлення за рахунок розміщення штуцера палива у верхній частині корпусу електрокерованої паливної секції ПНВТ перпендикулярно керуючому клапану, що у свою чергу дозволяє розмістити стабілізатор у порожнині цього штуцера, а також за рахунок відсутності в конструкції потреби спільної притирання поверхонь один до одної, тобто ущільнення упору та корпусу здійснюється не за рахунок точного виготовлення площин з високою частотою обробки поверхонь, а за рахунок виконаної різниці кутів конусів, що є істотно простішим у виготовленні при масовому виробництві клапанів;

- зниження просочування палива по плунжерній парі за рахунок розділення на порожнини гумовими кільцями підведення та відведення палива, зливу дренажного палива в нижній частині електрокерованої паливної секції ПНВТ – втулці плунжера насосу;

- значне зменшення ширини самого електромагніта за рахунок застосування П-подібного сердечника з поперечно намотаною котушкою. Така запропонована схема дозволяє значно зменшити ширину електромагніту клапана при тій же магнітній силі, що і у Ш-подібних електромагнітів (які здебільшого застосовують у подібних клапанах), що є дуже важливим, наприклад, для багатосекційних паливних насосів високого тиску, де значно обмежена міжсекційна відстань;

- унеможливлення випадання елементів електрокерованої паливної секції ПНВТ, таких як безпосередньо сам плунжер, пружина плунжера, тарілка при заміні

секцій за рахунок використання стопорного кільця (у штатній конструкції ПНВТ дизеля 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) стопорне кільце відсутнє).

3.4. Розрахунок ефективності застосування модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)

Модернізація конструкції паливної секції ПНВТ на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) дозволила підвищити тиск упорскування тим самим зменшити тривалість упорскування та якість розпилювання (дрібність розпорошування). Відповідно до цього зміна тиску та тривалості упорскування у значній мірі відбивається на процесах упорскування, сумішоутворення та згоряння, а це у свою чергу впливає на енергетичні та економічні показники роботи дизеля. Для визначення змін у роботі дизеля 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) від виконаної модернізації конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ було виконане математичне моделювання робочого циклу двигуна (табл. 3.1, 3.2). За результатами виконаних розрахунків отримано ряд графічних залежностей – рис. 3.4–3.8.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку ефективності застосування модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)

№ з/п	Найменування параметру	Позначення та розмірність	Значення
1	Діаметр	D , м	0,280
2	Хід поршня	S , м	0,320
3	Кількість циліндрів	i_z , шт.	6
4	Частота обертання колінчатого валу	n , хв ⁻¹	720,00
5	Ефективна потужність	N_e , кВт	1380,00
6	Механічний ККД	η_m	0,900
7	Ступінь стискування	ϵ	15,00
8	Кривошипно-шатунне відношення	λ	0,240
9	Температура навколишнього повітря	T_0 , К	298,00
10	Тиск навколишнього середовища	P_0 , кПа	100,20
11	Втрата тиску в ОНП	ΔP_k , кПа	2,00
12	Опір вихлопної системи (ділянки від виходу з робочого колеса турбіни до зрізу вихлопної труби)	ΔP_t , кПа	2,00

13	Адіабатний ККД компресора	$\eta_{a.k}$	0,84
14	Адіабатний ККД турбіни	$\eta_{a.t}$	0,82
15	Механічний ККД турбокомпресора	$\eta_{m.tk}$	0,95
16	Температура води на вході в ОНП	$T_w^{ОНП}$, К	297
17	ККД системи охолодження наддувочного повітря	η_{co}	0,950
18	Число циліндрів, об'єднаних спільною секцією випускного колектора	i_{zlk}	3,00
19	Відношення об'єму секції випускного колектора до робочого об'єму циліндра	$V_{в.к.}/V_s$	1,800
20	Константа імпульсності	Φ	1,100
21	Кут початку впорскування палива	$\varphi_{н.}^{ВП.}$, град. п.к.в.	350,00
22	Тривалість уприскування палива	$\varphi_{впр.}$, град. п.к.в.	24,00
23	Кут відкриття випускного клапана	$\varphi_{о.}^{ВИП.}$, град. п.к.в.	492,00
24	Кут закриття випускного клапана	$\varphi_{з.}^{ВИП.}$, град. п.к.в.	30,00
25	Кут відкриття впускного клапана	$\varphi_{о.}^{ВП.}$, град. п.к.в.	670,00
26	Кут закриття впускного клапана	$\varphi_{з.}^{ВП.}$, град. п.к.в.	230,00
27	Тривалість відкривання впускного клапана	$\varphi_{п.о.}^{ВП.}$, град. п.к.в.	90,00
28	Тривалість відкривання випускного клапана	$\varphi_{п.о.}^{ВИП.}$, град. п.к.в.	90,00
29	Тривалість закривання впускного клапана	$\varphi_{п.з.}^{ВП.}$, град. п.к.в.	90,00
30	Тривалість закривання випускного клапана	$\varphi_{п.з.}^{ВИП.}$, град. п.к.в.	90,00
31	Діаметр впускного клапана	$d_{вп.}^{кл.}$, м	0,078
32	Кількість впускних клапанів	$n_{вп.}^{кл.}$	2,00
33	Діаметр випускного клапана	$d_{вип.}^{кл.}$, м	0,078
34	Кількість випускних клапанів	$n_{вип.}^{кл.}$	2,00
35	Висота підйому впускних клапанів	$h_{вп.}^{кл.}$, м	0,026
36	Кут конуса тарілки тарілки впускних клапанів	$\alpha_{вп.}^{кл.}$, град.	60
37	Висота підйому випускних клапанів	$h_{вип.}^{кл.}$, м	0,026
38	Кут конуса тарілки випускних клапанів	$\alpha_{вип.}^{кл.}$, град.	60
39	Коефіцієнт витрати для впускного клапана	$\mu_{вп.к.}$	0,830
40	Коефіцієнт витрати для випускного клапана	$\mu_{вип.к.}$	0,860
41	Пропускна здатність турбіни	$\mu F_t, м^2$	0,008150
42	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	A_i	0,0000038
43	Нижча теплота згоряння палива	Q_n , кДж/(кг·К)	42427,400
44	Щільність палива	ρ_p , кг/м ³	850,00
45	Цетанове число палива	—	50,00
46	Молекулярна маса палива	μ_p , кг/кмоль	220,00
47	Коефіцієнт поверхневого натягу палива	σ_p , Н/м	0,028
48	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	k_n	0,00016
49	Умовна енергія активації	E_a , кДж/кмоль	21000,00
50	Кількість соплових отворів форсунки	i_c	6,00
51	Діаметр соплових отворів форсунки	d_c , м	0,0003635
52	Коефіцієнт у формулі визначення середнього	E_c	1,700

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.03.ПЗ

Аркуш

44

	діаметра крапель		
53	Відстань від розпилювача форсунки до стінки камери згоряння	$L_{wall}, \text{ м}$	0,098
54	Частка незгорілого палива	Δ_T	0,01
55	Товщина стінки втулки	$\Delta_s, \text{ м}$	0,024
56	Коефіцієнт термічного опору стінки втулки	$R_{ствт}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,300
57	Коефіцієнт термічного опору стінки кришки	$R_{сткр}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,300
58	Коефіцієнт термічного опору стінки поршня	$R_{стпр}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,300
59	Довжина охолоджуваної частини втулки (у відсотках від ходу поршня)	$h_{ов}, \%$	100
60	Частка теплоти тертя, що відводиться з водою	$a_{тр.}^w$	0,780
61	Частка теплоти тертя, що відводиться з маслом	$a_{тр.}^m$	0,220
62	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки втулки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{вт}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3,000
63	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки кришки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{кр}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3,000
64	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки поршня до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{пр}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	2,500
65	Середня температура води в сорочці двигуна	$T_w^{вт}, \text{ К}$	358,000
66	Середня температура води в кришці двигуна	$T_w^{кр}, \text{ К}$	358,000
67	Середня температура масла, що охолоджує поршень	$T_w^{пр}, \text{ К}$	373,000

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку робочого циклу за умов застосування на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ

№ з/п	Найменування параметру	Позначення та розмірність	Значення
1	Ефективна потужність ДВЗ	$N_e, \text{ кВт}$	1380,52
2	Питома ефективна витрата палива ДВЗ	$g_e, \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$	0,1729
3	Ступінь підвищення тиску в компресорі	Π_k	2,992
4	Тривалість згоряння	$\varphi_{зг.}, \text{ град.}$	85,32
5	Кут затримки займання палива	$\varphi_{з.}^{восп.}, \text{ град.}$	4
6	Кут початку видимого згоряння	$\varphi_{н.}^{згор.}, \text{ град.}$	354
7	Середній тиск впорскування всієї порції палива	$P_{inj}, \text{ МПа}$	88,760
8	Середній діаметр крапель	$d_{32}, \text{ мкм}$	11,836
9	Кут, під яким факел досягає стінок камери згоряння	$\varphi_{wall}, \text{ град.}$	15
10	Тривалість взаємодії факела зі стінками камери згоряння	$\varphi_{fr}, \text{ град.}$	10
11	Максимальний тиск згоряння	$P_z, \text{ кПа}$	19359,03
12	Максимальна температура згоряння	$T_z, \text{ К}$	1789,74
13	Середній індикаторний тиск	$P_i, \text{ кПа}$	2162,49
14	Середній ефективний тиск	$P_e, \text{ кПа}$	1946,24
15	Тиск повітря в ресивері	$P_s, \text{ кПа}$	297,76
16	Температура повітря в ресивері	$T_s, \text{ К}$	303,57

17	Тиск суміші наприкінці стиснення	P_c , кПа	9779,09
18	Температура суміші наприкінці стиснення	T_c , К	750,46
19	Середня температура газів перед турбіною	T_t , К	653,6
20	Середній тиск газів перед турбіною	P_t , кПа	249,2
21	Середня температура газів за турбіною	T_{zt} , К	614,9
22	Температура газів у момент відкриття випускного клапана	T_b , К	838,3
23	Тиск газів у момент відкриття випускного клапана	P_b , кПа	892,8
24	Температура наддувного повітря	T_k , К	428,4269
25	Температура залишкових газів	T_r , К	327,73
26	Тепло, відведене у воду	Q_w , кВт	179,6
27	Тепло, відведене в масло	Q_m , кВт	60,9
28	Тепло, що відводиться в ОНП від стиснутого повітря	$Q_w^{ОНП}$, кВт	329,8
29	Тепло, що втрачається з ВГ	$Q_w^{ВГ}$, кВт	904,6
30	Витрата повітря через компресор	G_k , кг/с	2,5155
31	Витрата газу через газову турбіну	G_t , кг/с	2,5782
32	Потужність турбіни газової турбіни	N_{et} , кВт	329,5590
33	Потужність компресора	N_{ek} , кВт	329,2590
34	Коефіцієнт залишкових газів	γ_r	0,0301
35	Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	α	2,46
36	Коефіцієнт продувки	φ_a	1,079

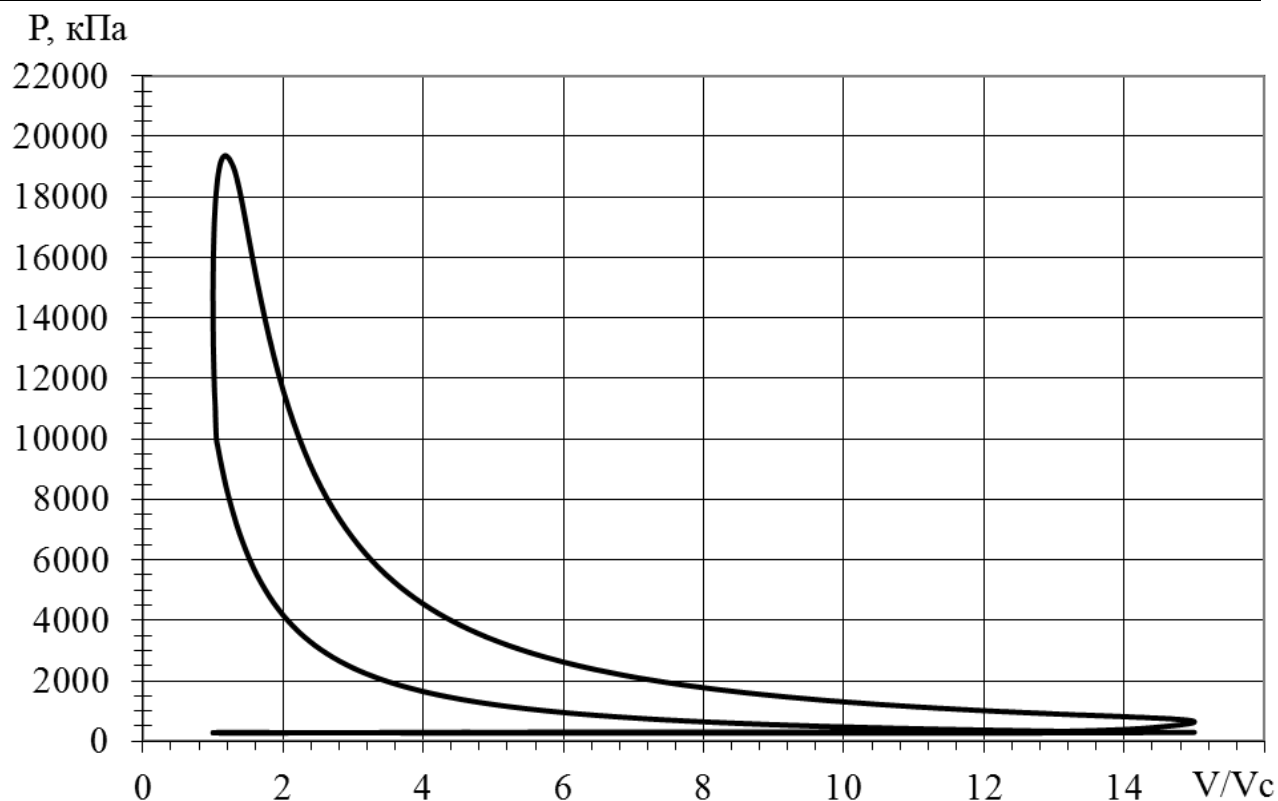


Рисунок 3.4 – Згорнута індикаторна діаграма за умов застосування на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.03.ПЗ

Аркуш

46

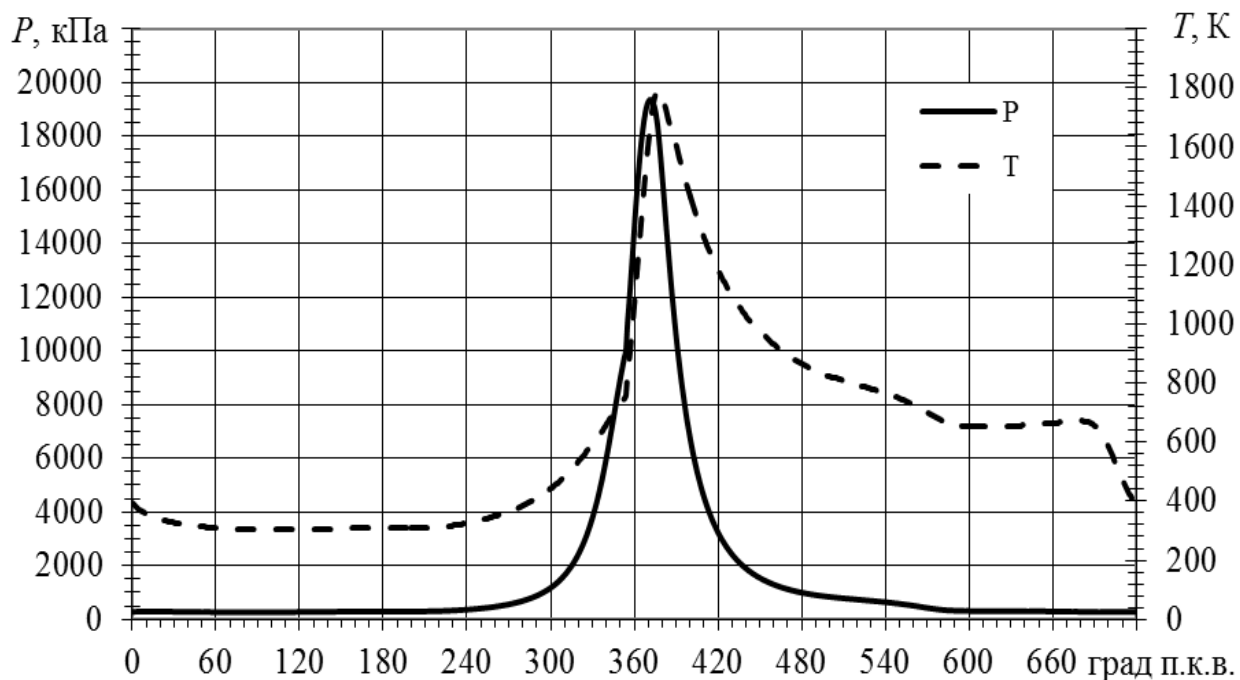


Рисунок 3.5 – Розгорнута індикаторна діаграма та діаграма зміни температури робочого тіла за умов застосування на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ

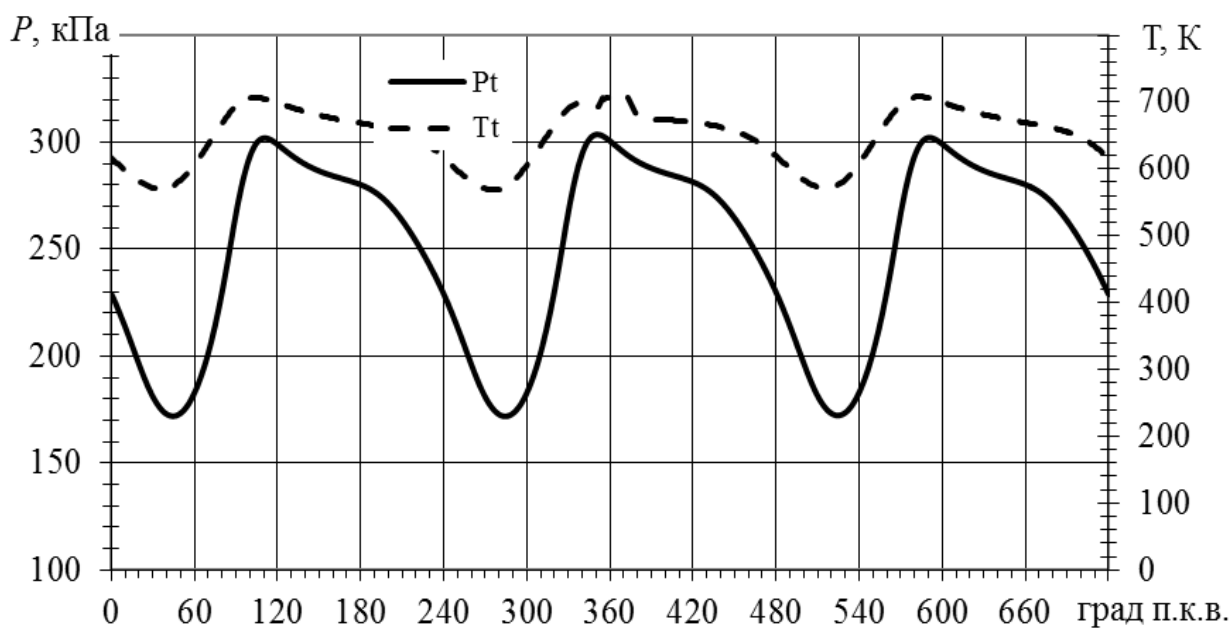


Рисунок 3.6 – Зміна тиску та температури у випускному колекторі за умов застосування на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ

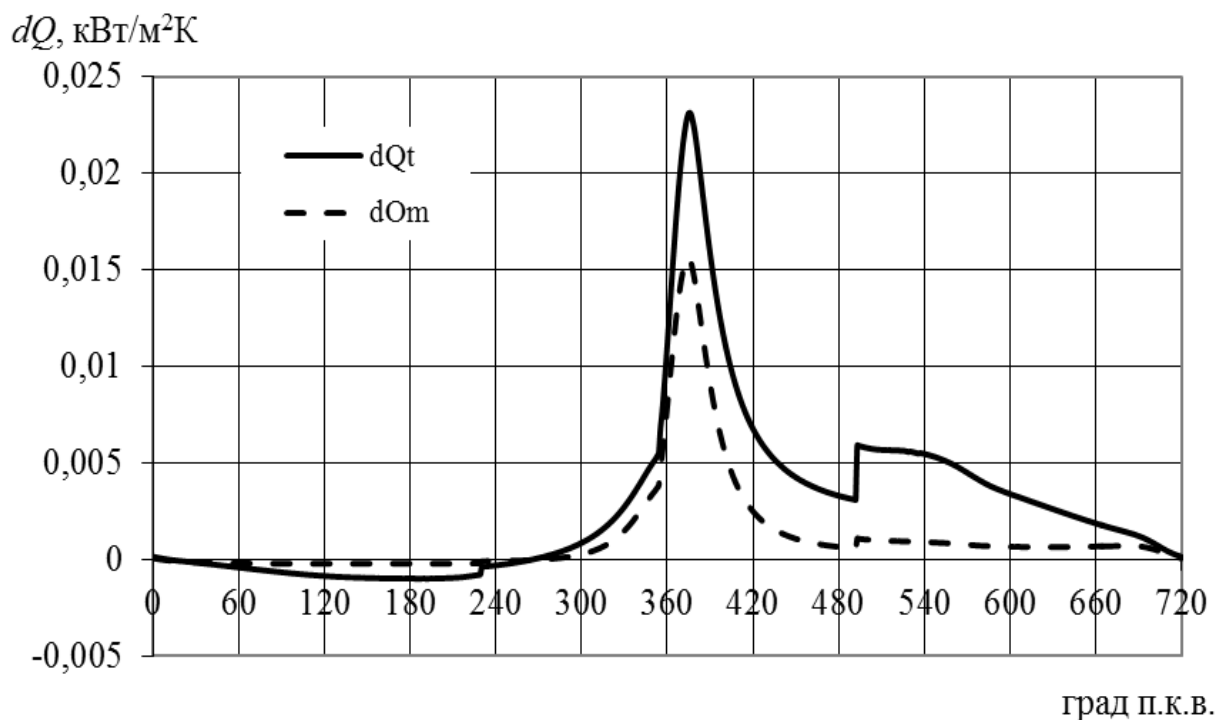


Рисунок 3.7 – Втрати тепла у воду і масло за умов застосування на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ

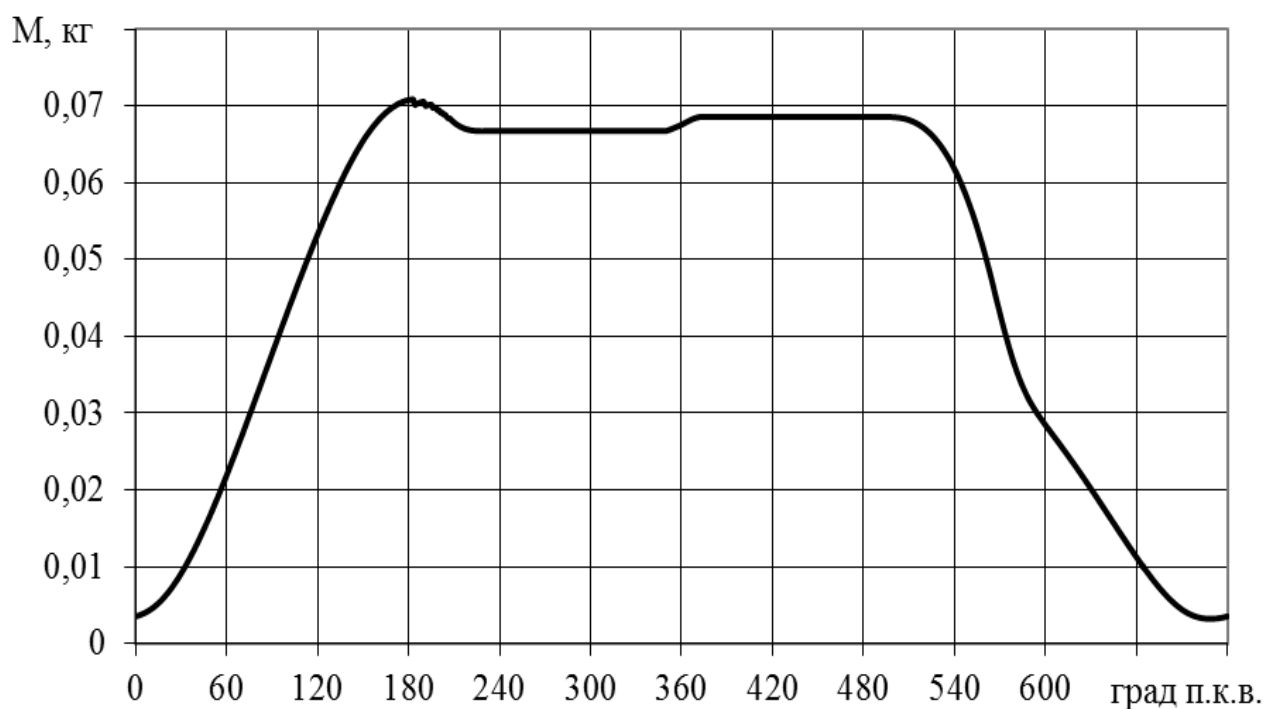


Рисунок 3.7 – Зміна маси робочого тіла у циліндрі за умов застосування на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ

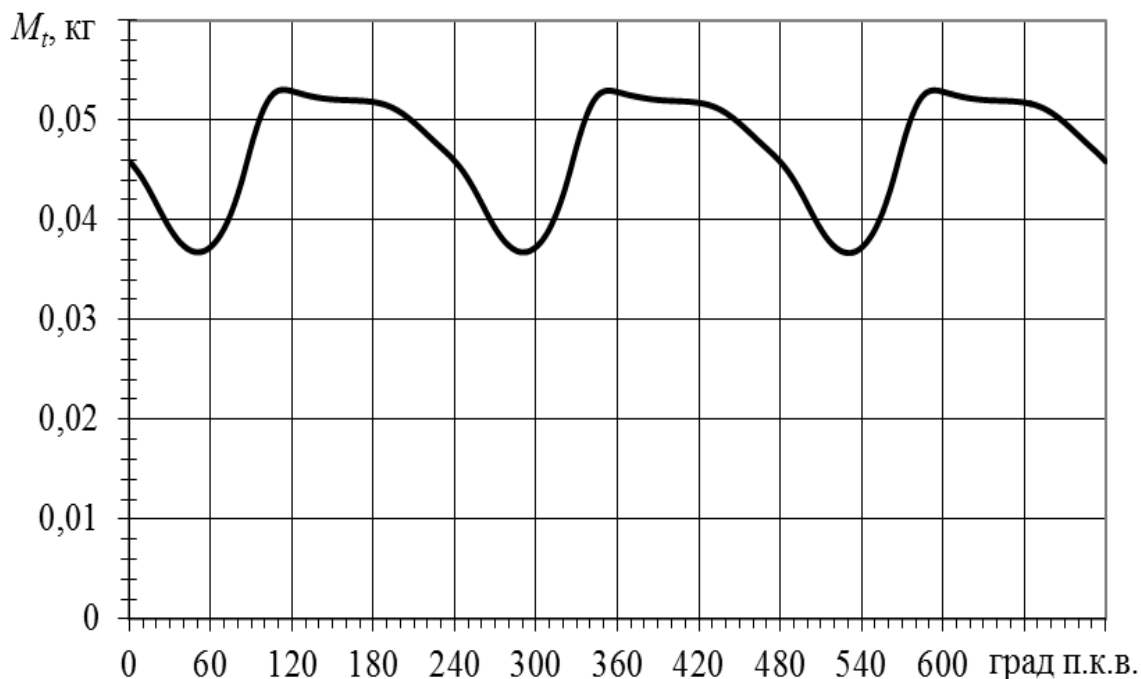


Рисунок 3.8 – Зміна маси у випускному колекторі за умов застосування на двигуні 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) модернізованої конструкції електрокерованої паливної секції ПНВТ

3.5. Висновки до розділу

У третьому розділі роботи виконано аналіз загальних закономірностей, які визначають динаміку процесу упорскування палива в дизелях, а також особливостей роботи гідравлічно-керованих елементів паливної системи дизелів.

Модернізовано конструкцію паливної секції ПНВТ двигуна типу 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32), а також виконано розрахунок ефективності застосування цієї електрокерованої паливної секції ПНВТ на дизелі. Модернізація конструкції паливної секції ПНВТ дозволила підвищити тиск упорскування на 6,5 % тим самим зменшити тривалість упорскування на 2 град. п.к.в. та якість розпилювання (дрібність розпоршування – середній діаметр крапель зменшився з $d_{32} = 12,036$ мкм до $d_{32} = 11,836$ мкм). Зміни у процесах упорскування, сумішоутворення та згоряння забезпечили паливну економічність на рівні 1 г/(кВт·год), що є суттєвим результатом.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.10.03.ПЗ

Аркуш

49

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ СУДНОВОГО ДВИГУНА ТИПУ 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)

4.1. Техніко-економічне обґрунтування модернізації суднового двигуна 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) є важливою частиною інноваційного проекту та визначає економічну доцільність, його здійснення та цінність для споживача. З огляду на різноманітність умов, які мають враховуватись при розробці проекту з модернізації, техніко-економічні обґрунтування також значно різняться за методологією визначення та своєю структурою. На підходи до техніко-економічної оцінки інноваційного проекту та її зміст впливають:

- загальні методологічні підходи щодо оцінки потрібних затрат;
- галузева специфіка споживача та специфіка самого технологічного рішення;
- стан наявної інформаційної бази та можливості з пошуку достовірної необхідної технічної та цінової інформації;
- основні вимоги споживачів техніко-економічного обґрунтування та визнані ними показники інвестиційної оцінки;
- обмеження підготовки техніко-економічного обґрунтування, що впливають на можливість та доцільність пошуку додаткових даних.

Мета техніко-економічного обґрунтування полягає у доведенні технічної можливості та економічної доцільності модернізації існуючого двигуна або створення нової конструкції.

В обґрунтуванні виконаної модернізації необхідно всебічно врахувати новітні світові науково-технічні досягнення, виявити позитивні та негативні сторони існуючих однотипних рішень та намітити заходи, завдяки яким новий двигун (або модернізований) матиме технічні та економічні переваги.

					<i>KPM.142.6221м.25.10.04.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

Модернізація конструкції паливної секції ПНВТ двигуна типу 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) дозволила забезпечити паливну економічність на рівні 1 г/(кВт·год). Зниження питомої ефективної витрати палива двигуном безсумнівно відобразиться на поточних витратах при експлуатації дизеля. Відповідно до цього для визначення економічного ефекту та терміну окупності проведеної модернізації виконаємо відповідні розрахунки (табл. 4.1 та 4.2).

Капітальні та експлуатаційні витрати розраховуються за базовим та проектованим (або модернізованим) варіантами. Під проектованим (або модернізованим) розуміється той варіант, який розробляється у магістерській роботі, а під базовим варіантом розуміється двигун прототип обраний для виконання модернізації (MAN 6L28/32).

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні параметри базового та модернізованого двигуна MAN 6L28/32

№ з.п.	Найменування показників	Позначення	Розмірність	Базовий 6L28/32	Модернізований 6L28/32
1	Потужність	N_e	кВт	1380	1380
2	Частота обертання	n	хв ⁻¹	720	720
3	Діаметр циліндра	D	м	0,28	0,28
4	Хід поршня	S	м	0,32	0,32
5	Питома витрата палива	g_e	кг/кВт·год	0,174	0,173
6	Механічний ккд	η_m	-	0,9	0,9
7	Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,000522	0,000519
8	Вага	G	кг	15500	15500
9	Габарити	L	м	4,05	4,05
10		B	м	1,844	1,844
11		H	м	2,74	2,74
12	Ціна двигуна	Π	грн	9445400	9485200
13	Ціна палива	Π_p	грн/кВт·год	12,13953	12,06976744
14	Ціна масла	Π_m	грн/кг	29,5	29,5
15	Час роботи за рік	t	год	4380	4380
16	Число контрольних ремонтів	η	-	1	1
17	Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	ε_{min}	-	1,1	1,1
18	Коефіцієнт частини вартості роботи	b	-	0,05	0,05
19	Коефіцієнт використання по-	K_p	-	0,95	0,95

	тужності				
20	Коефіцієнт частини вартості капітального ремонту	$K_{к.р}$	-	0,3	0,3
21	Час безперервної роботи	$t_{н.р}$	год	20	20
22	Ресурс двигуна до першого перебирання	$t_{пер}$	год	12000	12000
23	Ресурс двигуна до капітального ремонту	$t_{к.р}$	-	72000	72000
24	Нормативний коефіцієнт порівняння економічної ефективності	E	кВт	0,15	0,15

Таблиця 4.2 – Розрахунки економічної обґрунтованості модернізації конструкції паливної секції ПНВТ двигуна типу 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32)

№ з.п.	Найменування	Позна-чення	Спосіб визначення	Базовий 6L28/32	Модернізова-ний 6L28/32	
1	Річна продуктивність	N, кВт·год в рік	$N = K_{\Pi} \cdot N_{\varepsilon} \cdot t$	5742180	5742180	
2	Термін служби	T, рік	$T = \frac{t_{xp}}{t}$	16,44	16,44	
3	Річні поточні витрати на паливо	Зп, грн	$З_n = N \cdot \Pi_n \cdot g_{\varepsilon}$	12129086,63	11990072,46	
4	Річні поточні витрати на масло	Зм, грн	$З_m = g_m \cdot N \cdot \Pi_m$	88423,82982	87915,64689	
5	Річні витрати на поточний ремонт	Зп.р, грн	$З_{n.p} = \frac{b \cdot t \cdot \Pi}{t_{nep}}$	172378,55	173104,9	
6	Річні витрати на капітальний ремонт	Зк.р, грн	$З_{к.p} = \frac{K_{к.p} \cdot t \cdot \Pi}{t_{к.p} \cdot \varepsilon_{min}}$	156707,77	157368,09	
7	Річний економічний ефект у споживача	U1, грн	$U_1 = З_n + З_m + З_{к.p} + З_{n.p}$	12546596,78	12408461,10	
8		U1 ¹⁶ , грн	$U_1^{16} = \frac{N_{\varepsilon}}{N_{\delta}} \cdot U_1^{\delta}$	12546596,78	—	
9	Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	Ек, грн	$E_k = \left[\Pi_{\varepsilon} \cdot \frac{N_{\varepsilon}}{N_{\delta}} \cdot \left(\frac{\frac{1}{T_{\varepsilon}} + E_{\varepsilon}}{\frac{1}{T_c} + E_c} \right) + \frac{U_1^{16} - U_1^c}{\frac{1}{T_c} + E_c} \right] - \Pi_c$			615389,0263

10	Додаткові одноразові витрати на модернізацію двигуна	ΔK , грн	—	39800
11	Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS , грн	$\Delta S = U_1^{1\delta} - U_1^c$	138135,69
12	Час окупності модернізованого двигуна	$T_{\text{окуп}}$, рік/місяць	$T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta S}$	0,29/ 3,5

4.2. Висновки до розділу

Модернізація конструкції паливної секції ПНВТ двигуна типу 6ЧН 28/32 (MAN 6L28/32) дозволила забезпечити паливну економічність та відповідно знизити витрати при експлуатації дизеля. Так, річна економія при експлуатації модернізованого двигуна MAN 6L28/32 складатиме 138135,69 грн, а капітальні затрати на модернізацію окупляться вже за 3,5 місяці.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Основні вимоги з охорони праці на судні

Правила та основні вимоги з охорони праці на суднах внутрішнього водного транспорту та морських суднах поширюються на усіх учасників трудової діяльності. Зокрема правила стосуються судовласників, екіпажі судна, судових медичних робітників, інших осіб, що перебувають на судні для виконання різноманітних трудових обов'язків, здаточні команди різних підприємств промисловості, наукові працівники, викладачі та курсанти освітніх організацій, які проходять плавальну практику на судні.

У відповідності до правил судовласник обов'язково забезпечує розробку та затвердження відповідної інструкцій з охорони праці персоналу та наявність, а також доступність таких інструкцій на суднах. Зокрема на кожному судні не залежно від форми власності повинні знаходитися документи з охорони праці, а саме комплект усіх нормативних правових актів, що містять усі вимоги з охорони праці відповідно до посади працівника та його специфіки діяльності; уся передбачена законодавством обліково-звітна документація (наприклад, журнал обліку оглядів й випробувань ручного та переносного електрообладнання, електрозварювального та газозварювального обладнання, тощо); уся відповідна документація з навчання питань охорони праці персоналу судна (наприклад, відповідні журнали з реєстрації інструктажу з охорони праці, посвідчення встановленого зразка, що підтверджують проходження та перевірку знань з вимог охорони праці та техніки безпеки, сертифікати про проходження та успішне закінчення відповідальних осіб курсів з надання першої медичної допомоги).

Усі потрібні роботи на суднах внутрішнього водного транспорту та морських суднах повинні виконуватися персоналом відповідно до усіх вимог правил, інструкцій з охорони праці, правил технічної експлуатації самого судна, усіх інструкцій та рекомендацій заводів-виробників з обслуговування і ремонту встано-

					<i>КРМ.142.6221м.25.10.05.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

влених на даному судні обладнання, механізмів та різноманітних пристроїв, технологічних карт, а також відповідних документів з безпечної експлуатації обладнання, механізмів та різноманітних пристроїв.

З метою максимальної підтримки в належному стані і, що найбільш важливо у справності технічні засоби судна його різні пристрої та особливо засоби боротьби за живучість, індивідуальні й колективні засоби захисту екіпажу, різного обладнання, відповідна технічна документація, наявні інструменти, допоміжне приладдя, а також приміщення розподіляються відповідним розпорядчим документом щодо завідування серед членів екіпажу судна. Усі члени екіпажу судна мають бути обов'язково навчені безпечним способам та підходам обслуговування закріплених за ними різних механізмів й пристроїв, що знаходяться під його відповідальністю.

Призначений керівник для виконання робіт обов'язково зобов'язаний вжити усіх першочергових заходів, що забезпечують максимальну безпеку проведення персоналом судна робіт:

- обов'язково забезпечити дотримання усіх потрібних заходів безпечного виконання поставлених робіт;
- провести повноцінний інструктаж з охорони праці та техніки безпеки під час виконання поставлених робіт;
- забезпечити якісне та безпечне освітлення відповідно до чинних санітарних норм;
- обов'язково переконатися (зовнішнім оглядом та оцінкою) у задовільному стані палубних покриттів судна;
- обов'язково перевірити правильність та відповідність діям застосування пристосувань, інструментів і обладнання, а також їх справність й безпечність;
- розподілити персонал відповідно до об'ємів, характеру та складності роботи;
- видалити з місця проведення робіт усіх осіб, які не беруть прямої участі в виконанні даної роботи;

– забезпечити своєчасне встановлення огорож, а також відповідне до норм позначення небезпечних місць особливо у темний час доби;

– виділити місце проведення роботи усіма потрібними знаками безпеки, у потрібних випадках й до встановлення цих знаків безпеки призначити спостерігача для попередження інших членів екіпажу судна.

Під час шторму на морі вихід персоналу судна, переміщення й виконання будь яких робіт на відкритій палубі судна є можливим лише за розпорядженням капітана судна. При цьому переміщення на відкритій палубі судна повинні здійснюватися тільки групою осіб у складі не менше двох людей із обов'язковим використанням рятувальних жилетів, захисних касок й спеціальних запобіжних поясів зі страхувальними кінцями, а також спеціальних засобів зв'язку. Відчиняти будь-які отвори у фальшбортах судна, прибирати леєрні огорожі для здійснення робіт допускається тільки з відповідного дозволу вахтового помічника капітана судна. При цьому обов'язково повинні бути вжиті усі необхідні заходи, що запобігають можливому падінню персоналу судна за борт, у тому числі й встановлені різні знаки безпеки. Після закінчення проведення робіт отвори обов'язково закривають, а зняті для проведення робіт огорожі встановлюють на свої місця і закріплюють.

При ремонтуванні двигунів, різних суднових допоміжних механізмів, електричного обладнання та устаткування, пристроїв й установок має бути відключено їх живлення, а на місці пуску повинні бути вивішені спеціальні інформативні таблички з написом: «Не вмикати – працюють люди». Зняття таблички з цим написом дозволяється лише тій людині яка її встановлювала.

При відкритті людиною відповідних клапанів й кранів подачі пари чи гарячої води для безпеки самої людини їй слід перебувати там, де гарантовано можна уникнути впливу гарячого струменя пари чи води.

Для місцевого освітлення чи підсвічування слід застосовувати спеціальні переносні акумуляторні ліхтарі або переносні світильники обов'язково у вибухобезпечному виконанні напругою яка не перевищує 12 В:

– при проведенні огляду, чищення, замірах рівня палива в паливних цистернах з різними паливно-змащувальними матеріалами;

					<i>KPM.142.6221м.25.10.05.ПЗ</i>	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- в суднових приміщеннях призначених для зберігання лакофарбових матеріалів й балонів високого тиску з горючими та вибухонебезпечними газами;
- при розбиранні та огляді картерів дизелів, компресорів високого тиску, зубчастих передач редукторів, холодильних машин, де можливе певне скупчення займистих парів палива, масла або газів вибухонебезпечних концентрацій;
- в баластних танках судна, вантажних танках, кофердамах, баластних суднових цистернах, а також міждонному просторі.

Суворо забороняється відкривати та закривати вентилі, клинкети, крани ключами з подовженням ручки (додавати ключам довжини).

При знятті огорож обслуговуючим персоналом для здійснення певного виду робіт повинні бути обов'язково вжиті усі необхідні заходи для унеможливлення втрати кріпильних деталей.

Пуск усіх механізмів (чи пристроїв) на судні має бути здійснений відповідно до інструкції з експлуатації відповідного механізму наданої заводом виробником. Також при запуску обов'язково потрібно попередити усіх людей, що знаходяться поруч та впевнитися у відсутності сторонніх предметів на самому механізмі чи біля нього.

Пуск головних дизелів судна, що пов'язано з повертанням гребних гвинтів, при стоянці в порту допускається лише і тільки після огляду забортного простору навколо та за кормою на предмет відсутності там можливого скупчення людей чи плавзасобів.

При виявленні обслуговуючим персоналом судна несправності запобіжних пристроїв або увімкненні сигналізації запуск механізмів чи двигуна забороняється. Якщо в процесі роботи чи обслуговуванні механізмів було виявлено будь-які несправності запобіжних пристроїв чи сигналізації, двигуни та механізми повинні бути обов'язково зупинені до усунення виявлених несправностей.

Будь-які дрібні пошкодження корпусу, обладнання чи іншого оснащення судна (наприклад, виступаючі цвяхи або шурупи, хиткі кріплення елементів чи ручок, наявні нерівності або навіть пошкодження палубного покриття судна тощо),

які можуть бути причиною виникнення травм й падінь, повинні бути максимально швидко усунені при їх виявленні.

Усі робочі місця персоналу на судні, різні проходи та обов'язково шляхи евакуації людей мають бути вільними від різноманітних вантажів й сторонніх предметів. У разі виявлення – негайно очищені від них. Також усі проходи повинні бути очищені від розлитих нафтопродуктів та інших сторонніх речовин, що викликають ефект ковзання, періодично очищатися від наявного снігу й льоду. Встановлені плити настилів машинно-котельного відділення судна мають бути добре закріплені на своєму місці, а усі вирізи в них закриті.

Суворо забороняється демонтувати запобіжні ковпаки зі світильників для забезпечення можливого збільшення освітленості різних приміщень та палуб судна.

Місця на судні, де було тимчасово розкрито настил, повинні бути відповідним чином огорожені, а в темний час доби ще й якісно освітлені. Демонтовані листи настилу судна мають бути розташовані поруч з місцем проведення ремонту і надійно закріплені, щоб виключити певне самовільне їх переміщення.

Миготливі або тусклі лампочки освітлення можуть вказувати на наявність певних дефектів або несправності в проводці чи обладнанні, які можуть у подальшому привести до ураження електричним струмом чи навіть утворенню пожежі. Дефекти у електриці повинні бути виявлені та як мого скоріше усунені.

Вимоги охорони праці під час виконання робіт персоналом судна у машинному відділенні

Роботи в машинно-котельному відділенні судна мають виконуватися обслуговуючим персоналом під особистим контролем призначеної відповідальної особи командного складу судна. При цьому обслуговуючий персонал судна має бути повністю забезпечений засобами індивідуального захисту. На дверях машинно-котельного відділенні судна обов'язково має бути нанесені відповідні знаки безпеки, що напряду вказують на обов'язкове застосування персоналом судна засобів індивідуального захисту.

У машинно-котельному відділенні судна забороняється наступне:

					<i>KPM.142.6221м.25.10.05.ПЗ</i>	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- перебувати у приміщенні стороннім особам без відповідного супроводу персоналу судна та наявного дозволу вахтового механіка;
- розміщувати та зберігати легкозаймисті і вибухонебезпечні речовини;
- знімати без дозволу засоби захисту органів слуху;
- виконувати різного характеру роботи без застосування судна засобів індивідуального захисту;
- персоналу судна суворо забороняється самотійно (без дозволу вахтового або старшого чи навіть головного механіка) запускати (чи навпаки зупиняти) механізми та обладнання, що обслуговують суднову енергетичну установку;
- зберігати в приміщенні (розміщувати) сторонні не пов'язані з роботою енергетичної установки судна предмети та зайве обладнання;
- застосовувати та експлуатувати несправне обладнання;
- експлуатувати механізми та обладнання з пошкодженими та несправними приладами контролю роботи, захисту чи аварійно-попереджувальної сигналізації;
- здійснювати будь-які ремонтні роботи чи поточне обслуговування на діючих механізмах та установках;
- здійснювати підтягування різьбових з'єднання на різних механізмах, ємностях й трубопроводах, що знаходяться під високим тиском;
- залишати демонтовані деталі двигунів та агрегатів у підвішеному стані на підйомних пристроях.

Усі штатні або позаштатні роботи з технічного обслуговування та ремонту складових суднової енергетичної установки повинні виконуватися за розпорядженням та під наглядом відповідальної особи командного складу, а також за відома старшого (чи головного) суднового механіка.

Усі наявні у приміщенні рухомі частини механізмів та обладнання суднової енергетичної установки повинні бути ретельно огорожені. Суворо забороняється демонтувати огорожі з рухомих частин під час їх роботи (наприклад, маховиків, муфт, фланцеві що з'єднують кінці валів).

Двері, люки, лази, що використовуються персоналом судна для входу та виходу, мають постійно перебувати в належному та справному стані, а проходи до

аварійних (евакуаційних) виходів, аварійного-рятувального та протипожежного обладнання мають завжди бути вільними й не захищеними.

Усі змінні запасні частини механізмів та обладнання, запасні деталі суднових двигунів, інструменти повинні зберігатися лише і тільки на своїх штатних місцях та бути ретельно закріплені.

Газовипускні тракти суднових дизелів машинного відділення, котлів, газових турбін, установок інертного газу мають бути ретельно та якісно ущільнені з метою перешкоджання проникненню відпрацьованих газів в приміщення машинного відділення і інші судові приміщення.

5.2. Розрахунок механічної вентиляції у приміщенні машинного відділення судна

Судно в цілому та машинне відділення зокрема повинно бути обладнано припливно-витяжною вентиляцією. Система вентиляції має надійно та якісно забезпечувати необхідну, з точки зору санітарних норм, заміну повітря у приміщенні машинного відділення. Розрахунок примусової механічної вентиляції у розділі (див. табл. 5.1) виконується за умов надлишкових тепловиділень від складових машинного відділення (особливо від дизелів).

Таблиця 5.1 – Розрахунок примусової механічної вентиляції

№ з.п.	Параметр	Позначення та розмірність	Спосіб визначення	Значення
1	Коефіцієнт теплообміну між зовнішніми поверхнями дизеля та навколишнім середовищем	α , Дж/(м ² ·с·К)	—	10
2	Температура зовнішньої поверхні дизеля	$t_{п.дв}$, °С	—	60
3	Температура навколишнього повітря у приміщенні МВ	$t_{в}$, °С	—	28
4	Площа поверхні тепловіддачі від двигуна	$F_{п.о.}$, м ²	—	121
5	Кількість тепла, що виділяється від дизеля	$Q_{над}$, кДж/год	$Q_{над} = \alpha \cdot (t_{п.дв} - t_{в}) \cdot F_{п.о.}$	38720
6	Величина нормованої температури повітря у робочій зоні	$t_{р.з}$, °С	—	28
7	Температурний градієнт за висотою	Δt , °С/м	—	1

	приміщення МВ;			
8	Відстань від підлоги МВ до центрів отворів витяжної системи вентиляції	h , м	—	10,5
9	Температура потоку теплого повітря, що виходить з приміщення	$t_{уд}$, °C	$t_{уд} = t_{p.з} + \Delta t \cdot (h - 2)$	36,5
10	Температура свіжого потоку, що поступає	$t_{пр}$, °C	—	27,5
11	Середня щільність повітря	ρ , кг/м ³	—	1,2
12	Питома теплоємність повітря	c , кДж/кг·К	—	1,0
13	Повітрообмін у приміщенні МВ де розміщено дизель	L_m , м ³ /год	$L_m = \frac{Q_{изб}}{c \cdot \rho \cdot (t_{уд} - t_{пр})}$	3585,185
14	Робочий тиск	$P_{т.р}$, Па	—	350
15	Загальне значення місцевих опорів системи вентиляції	$P_{м.о}$, Па	—	670
16	Тиск вентилятора	P_v , Па	$P_v = 1,2 \cdot (P_{т.р} + P_{м.о})$	1224
17	Марка обраного вентилятору	—	стандартний відцентровий вентилятор	Ц4-30N8
18	ККД вентилятора	η_v	за номограмами	0,7
19	ККД передачі	$\eta_{п}$	—	0,95
20	Потужність вентилятора	N_v , кВт	$N_v = \left(\frac{L_m \cdot P_v}{3,6 \cdot \eta_v \cdot \eta_{п}} \right) \cdot 10^{-6}$	1,833
21	Коефіцієнт, що враховує запасу потужності на привід	k	—	1,2
22	Потужність електродвигуна для приводу вентилятора	$N_{уст}$, кВт	$N_{уст} = N_v \cdot k$	2,2

5.3. Аналіз можливих шляхів зниження емісії NO_x з відпрацьованими газами дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32)

Фірма MAN Diesel провела дослідну експлуатацію своїх середньооборотних двигунів із селективним каталітичним відновленням (SCR – Selective Catalytic Reduction) відпрацьованих газів і технологією подачі вологого повітря в циліндри двигуна (HAM – Humid Air Motor). Впровадження цих заходів дозволило отримати значне зниження викидів оксидів азоту (NO_x) до меж рівня Tier III вимог Міжнародної морської організації (IMO – International Maritime Organization), що вступають в силу після 2016 року для прибережних районів плавання морських суден. Фірма використовує своє неперевершене розуміння проблеми поліпшення еколого-економічних показників роботи судових середньооборотних двигунів.

Набрання чинності нормами Tier III у 2016 році зумовлює необхідність впровадження подальших технічних засобів і рішень, які сприятимуть зменшенню викидів NO_x на 80%.

При використанні методу SCR вихлопні гази обробляються аміаком або сечовиною і подаються в каталітичний перетворювач при температурі 300...400 °C з метою зниження вмісту в них NO_x до 98%. SCR технологія добре відпрацьована і заснована на застосуванні дозованого впорскування розчину сечовини в потік відпрацьованих газів на вході в каталітичну установку, що відновлює NO_x до азоту і води.

Зниженню шкідливих складових у відпрацьованих газах також сприяє сучасна конструкція двигуна MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32):

- високий ступінь стиснення, що забезпечує швидке зниження температури після займання палива з відповідним зниженням емісії NO_x і збільшенням питомої витрати палива;

- наближенням фаз газорозподілу до фаз циклу Міллера з раннім закриттям впускного клапана, що забезпечує зниження піків температур і відповідним зменшенням емісії NO_x ;

- використання високоефективних турбокомпресорів з високим ступенем наддуву для оптимізації компромісу між зменшенням NO_x і одночасним збільшенням питомої витрати палива;

- зміною фаз газорозподілу в частині зменшення кута перекриття клапанів;

- застосуванням системи подачі палива, що забезпечує гнучке налаштування кута початку подачі палива, тривалості подачі палива і тиску впорскування. При цьому паливна система може бути оптимізована на низьку витрату палива за допомогою використання систем з електронним управлінням ПНВТ, залишаючи при цьому SCR-процесу функцію зниження емісії NO_x .

Водночас, на думку фірми Wartsila, зниження NO_x за допомогою методу SCR може відбуватися тільки в межах певного температурного діапазону. Якщо температура занадто висока, аміак переважно буде згоряти, а не реагувати з NO/NO_2 .

					<i>KPM.142.6221м.25.10.05.ПЗ</i>	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При дуже низькій температурі швидкість реакції буде занадто повільною і конденсація сульфатів амонію виведе з ладу каталітичний елемент.

Такими недоліками, але з меншою продуктивністю щодо зниження викидів NO_x з відпрацьованими газами, не володіє технологія подачі вологого повітря в циліндри двигуна НАМ (НАМ – Humid Air Motor).

Технологія подачі вологого повітря полягає в насиченні наддувного повітря парами морської води, що надходить в турбокомпресор. В результаті температурні піки згоряння знижуються, внаслідок чого відбувається і зниження емісії NO_x .

5.4. Висновки до розділу

У розділі розроблено основні вимоги з охорони праці на судні. Виконано розрахунок механічної вентиляції у приміщенні машинного відділення судна де встановлено дизель 6L28/32 виробництва фірми MAN Diesel. Проаналізовано можливі та перспективні шляхи для зниження емісії NO_x з відпрацьованими газами судового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32).

					<i>KPM.142.6221м.25.10.05.ПЗ</i>	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК ПО РОБОТІ

Кваліфікаційна робота: *«Модернізація конструкції паливного насоса високого тиску середньобертового двигуна»* має усі базові розділи та креслення, що відповідають їх змісту.

У першому розділі розглянуто особливості конструкції сучасного суднового дизеля 6L28/32 виробництва фірми MAN Diesel (6ЧН 28/32).

У другому розділі виконано моделювання робочого циклу дизеля 6L28/32 для номінального режиму роботи з використанням математичної моделі, яка відноситься до класу термодинамічних математичних моделей у яких здійснюється розрахунок зміни параметрів робочого тіла у циліндрі, базуючись на вирішенні складної системи диференціальних рівнянь.

У третьому розділі виконано аналіз загальних закономірностей, які визначають динаміку процесу упорскування палива в дизелях, а також особливостей роботи гідравлічно-керованих елементів паливної системи дизелів. Модернізовано конструкцію паливної секції ПНВТ двигуна 6L28/32 виробництва фірми MAN Diesel, а також виконано розрахунок ефективності застосування цієї електрокерованої паливної секції ПНВТ на дизелі. Модернізація дозволила підвищити тиск упорскування, зменшити тривалість упорскування та покращити якість розпилювання. Зміни у процесах упорскування, сумішоутворення та згоряння забезпечили паливну економію на рівні 1 г/(кВт·год), що є суттєвим результатом.

У четвертому розділі встановлено, що модернізація конструкції паливної секції ПНВТ двигуна 6ЧН 28/32 дозволила забезпечити річну економію на рівні 138135,69 грн, а капітальні затрати на модернізацію окупляться вже за 3,5 місяці.

У п'ятому розділі розроблено основні вимоги з охорони праці на судні. Виконано розрахунок механічної вентиляції у приміщенні машинного відділення судна де встановлено дизель 6L28/32 виробництва фірми MAN Diesel. Проаналізовано можливі та перспективні шляхи для зниження емісії NO_x з відпрацьованими газами суднового дизеля MAN 6L28/32 (6ЧН 28/32).

					КРМ.142.6221м.25.10.00.ПЗ	Лист
						64
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т. Т. 1. Розробка конструкції форсованих двигунів наземних транспортних машин / ред. проф. А. П. Марченко та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. –384 с.
2. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
3. Наливайко В. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Методичні вказівки до виконання графіко-розрахункових робіт / В. С. Наливайко, С. Г. Ткаченко, В.С. Хоменко. – Миколаїв: НУК, 2012. – 72 с.
4. Наливайко В. С., Ткаченко С. Г., Хоменко В. С. Конструкція і динаміка двигунів внутрішнього згоряння. Програма, методичні вказівки та контрольні завдання для студентів заочної форми навчання. – Миколаїв: НУК, 2008. – 64 с.
5. Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.
6. Наливайко В.С. Конструктивні вузли та системи судових двигунів внутрішнього згоряння : навчальний посібник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський. – Миколаїв : Нук, 2013. – 100 с.
7. ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація».
8. Realizing Future Trends in Diesel Engine Development / B. Georgi, S. Hunkert, J. Liang, M. Willmann // SAE Papers. – 1997. – 972686. – P. 2133–2145.
9. Heywood John B. Internal Combustion Engine Fundamentals / John B. Heywood. - New York.: McGraw Hill New York, 1988. – 930 –. – ISBN 0-07-100499-8
10. Mollenhauer, K. Hanbbook of diesel engines / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. –634 p.

					<i>КРМ.142.6221м.25.10.00.ПЗ</i>	Лист
						65
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. An Innovative 3D-CFD-Approach towards Virtual Development of Internal Combustion Engines. / Chiodi M./ Stuttgart. 2011. 275 pp.
12. <http://blitzpro.zeddmalam.com/application/index/signin>

					<i>KPM.142.6221м.25.10.00.ПЗ</i>	Лист
						66
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		