

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ
АПАРАТУРИ НА ЕФЕКТИВНІ ПОКАЗНИКИ СУДНОВОГО
МАЛООБЕРТОВОГО ДВИГУНА

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Олександр МИТРОФАНОВ

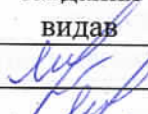
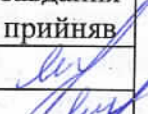
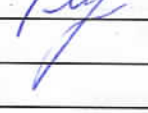
Здобувач освіти



Іван ФЕДИК

Миколаїв 2025

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 головного двигуна.		
2.	Розрахунок робочого циклу та динаміки для номінального режиму роботи.		
3.	Дослідження впливу параметрів налаштування паливної апаратури на ефективні показники головного двигуна.		
4.	Економічне обґрунтування прийнятих рішень.		
5.	Аналіз та розробка заходів охорони праці та навколишнього середовища.		

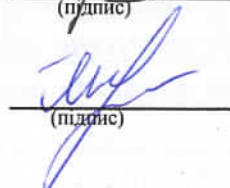
Здобувач освіти


 (підпис)

Іван ФЕДИК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)

Олександр МИТРОФАНОВ

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему: «*Дослідження впливу параметрів налаштування паливної апаратури на ефективні показники суднового малообертового двигуна*» присвячена дослідженню та оптимізації роботи паливної апаратури головного суднового дизельного двигуна з метою досягнення паливної економічності.

Розглянуто основні параметри та особливості конструкції МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C. Виконано розрахунок робочого циклу та динаміки для номінального режиму навантаження.

Виконано аналіз основних параметрів паливних систем дизелів, що впливають на процес паливоподачі. Виконано дослідження та оптимізація роботи паливної апаратури суднового двигуна типу 10ДКРН 96/250 за такими параметрами, як кут випередження впорскування та загальна тривалість процесу впорскування.

Здійснено техніко-економічне обґрунтування проведених досліджень та оптимізації роботи паливної апаратури головного суднового дизельного двигуна.

Розроблено вимоги з охорони праці при підготовці та проведенні робіт з технічного обслуговування та ремонту головних суднових двигунів та допоміжного обладнання. Здійснено аналіз шкідливої дії шуму на навколишнє середовище та організм людини.

Кваліфікаційна робота написана українською мовою та складається з 66 аркушів розрахунково-пояснювальної записки та п'яти креслень формату А1.

Ключові слова: дизельний двигун; паливна система; робочий цикл; процес паливоподачі; тривалість упорскування; випередження впорскування.

					КРМ.142.6221м.25.22.00.ПЗ	Лист
						4
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACTS

Qualification work on the topic: "*Study of the influence of fuel equipment settings on the performance of a low-speed marine engine*" is devoted to the study and optimization of the fuel equipment of the main ship diesel engine in order to achieve fuel efficiency.

The main parameters and design features of the Wärtsilä 10RT-flex-96C engine are considered. The working cycle and dynamics for the nominal load mode are calculated.

An analysis of the main parameters of diesel fuel systems that affect the fuel supply process is performed. Research and optimization of the fuel equipment of the 10ДКРН 96/250 ship engine is performed according to parameters such as the injection advance angle and the total duration of the injection process.

A technical and economic justification of the research and optimization of the fuel equipment of the main ship diesel engine has been carried out.

Occupational safety requirements have been developed for the preparation and performance of maintenance and repair work on main ship engines and auxiliary equipment. An analysis of the harmful effects of noise on the environment and the human body has been carried out.

The thesis is written in Ukrainian and consists of 66 pages of calculations and explanatory notes and five A1 format drawings.

Key words: diesel engine; fuel system; working cycle; fuel supply process; injection duration; injection advance.

					КРМ.142.6221м.25.22.00.ПЗ	Лист
						5
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
Розділ 1. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ МАЛООБЕРТОВОГО ГОЛОВНОГО СУДНОВОГО ДВИГУНА 10ДКРН 96/250 (WÄRTSILÄ 10RT-FLEX-96C)	
1.1. Основні параметри та особливості конструкції МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C.....	9
1.2. Висновок до розділу.....	18
Розділ 2. РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДЛЯ НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СУДНОВОГО МОД	
2.1. Загальна характеристика застосованої математичної моделі робочого циклу.....	19
2.2. Розрахунок робочого циклу суднового МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C..	20
2.3. Розрахунок динаміки суднового МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C.....	26
2.4. Висновок до розділу.....	33
Розділ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ НА ЕФЕКТИВНІ ПОКАЗНИКИ СУДНОВОГО ДВИГУНА WÄRTSILÄ 10RT-FLEX-96C (10ДКРН 96/250)	
3.1. Основні параметри паливних систем дизелів, що впливають на процес паливоподачі.....	34
3.2. Дослідження впливу параметрів налаштування паливної апаратури на ефективність енергоперетворення у судновому дизелі Wärtsilä 10RT-flex-96C.....	39
3.3. Розробка рекомендацій щодо внесення змін в конструкцію паливної системи суднового дизеля 10RT-flex-96C.....	45
3.4. Висновок до розділу.....	48

Розділ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ СУДНОВОГО ДВИГУНА 10ДКРН 96/250 (WÄRTSILÄ 10RT-FLEX-96C)

4.1. Техніко-економічне обґрунтування оптимізації роботи паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C.....	49
4.2. Висновок до розділу.....	53

Розділ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Розробка вимоги з охорони праці при підготовці та проведенні робіт з технічного обслуговування та ремонту головних двигунів та допоміжного обладнання.....	54
5.2. Аналіз шкідливої дії шуму на навколишнє середовище та організм людини.....	60
5.3. Висновки до розділу.....	63

ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	65

Додаток А. Загальний вигляд суховантажного судна

Додаток Б. Розміщення головного двигуна 10ДКРН 96/250 у машинному відділені

Додаток В. Поперечний розріз судового дизеля 10ДКРН 96/250

Додаток Г. Графічні залежності роботи головного двигуна 10ДКРН 96/250

Додаток Д. Оптимальне співвідношення випередження та тривалості впорскування

ВСТУП

До сучасних головних суднових двигунів висувають все більші вимоги щодо надійності, ресурсу роботи, безвідмовності, а також безперечно до паливної економічності та високої екологічності. Так, у значній мірі паливна економічність, а також частково екологічність двигуна залежить від ефективної роботи паливної системи двигуна в цілому та її елементів (паливного насосу високого тиску, форсунок) зокрема.

Паливна апаратура відноситься до числа досить важливих та відповідальних елементів двигуна. Від чіткості її налаштування та роботи залежить не тільки економічність та екологічність роботи двигуна, але і потужність, що розвиває двигун, його надійність роботи, а також ресурс. Саме тому провідні світові фірми виробники двигунів зосередили свої зусилля на дослідженнях у напрямку вдосконалення конструкції наявної паливної апаратури, а також розробках нових паливних систем та їх елементів.

Крім конструктивного вдосконалення особливу увагу приділяють дослідженням гідродинамічних процесів в системі паливоподачі, а також основним параметрам паливних систем дизелів, що впливають на процес паливоподачі та відповідно на процес згоряння у робочому циліндрі дизеля. Відповідно все це підтверджує затребуваність, значемість та актуальність обраного напрямку дослідження у кваліфікаційній магістерській роботі.

					<i>КРМ.142.6221м.25.22.00.ПЗ</i>	Лист
						8
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ МАЛООБЕРТОВОГО ГОЛОВНОГО СУДНОВОГО ДВИГУНА 10ДКРН 96/250 (WÄRTSILÄ 10RT-FLEX-96C)

1.1. Основні параметри та особливості конструкції МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C

Головний судновий дизельний двигун 10RT-flex-96C (за ДСТУ маркується, як 10ДКРН 96/250) виробництва відомого виробника суднових двигунів Wärtsilä є малообертовим ($n = 102 \text{ хв}^{-1}$), двотактним, десятициліндровим, реверсивним, крейцкопфним дизелем з вільним газотурбінним наддувом та проміжним охолодженням надувного повітря в охолоджувачі повітря (рис. 1.1).

Судновий дизельний двигун 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä за своїм основним призначенням є головним малооборотним двигуном, який має прямий реверс, та працює безпосередньо на гребний гвинт судна. На цьому дизелі використовується прямоточно-клапанна продувка порожнини робочого циліндру. Управління судновим дизелем 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä здійснюється повністю автоматизовано (тобто двигун має високий клас автоматизації). Конструкція суднового дизельного двигуна 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä забезпечує можливість застосування досить широкого діапазону різних палив. Так двигун може застосовувати від морських дизельних палив (скорочено MDO) аж до важких суднових мазутів (скорочено HFO), різної якості та різним вмістом сірки.

Циліндрова ефективна потужність дизельного двигуна Wärtsilä RT-flex-96C складає 5720,0 кВт/циліндр, відповідно до цього ефективна потужність десятициліндрового двигуна становитиме – 57200 кВт.

Судновий дизельний двигун Wärtsilä 10RT-flex-96C було спеціально спроектовано з урахуванням минулого опиту та всіх напрацьованих технічних рішень, вже прийнятих для серії суднових МОД RTA. До таких передових технічних рішень можна віднести: наявність групи отворів в тілі поршня для забезпечення його ефективного охолодження; значне покращення конструкцій втулок робочого циліндру та циліндрових кришок; модифікація вузлу випускного клапану.

					КРМ.142.6221м.25.22.01.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

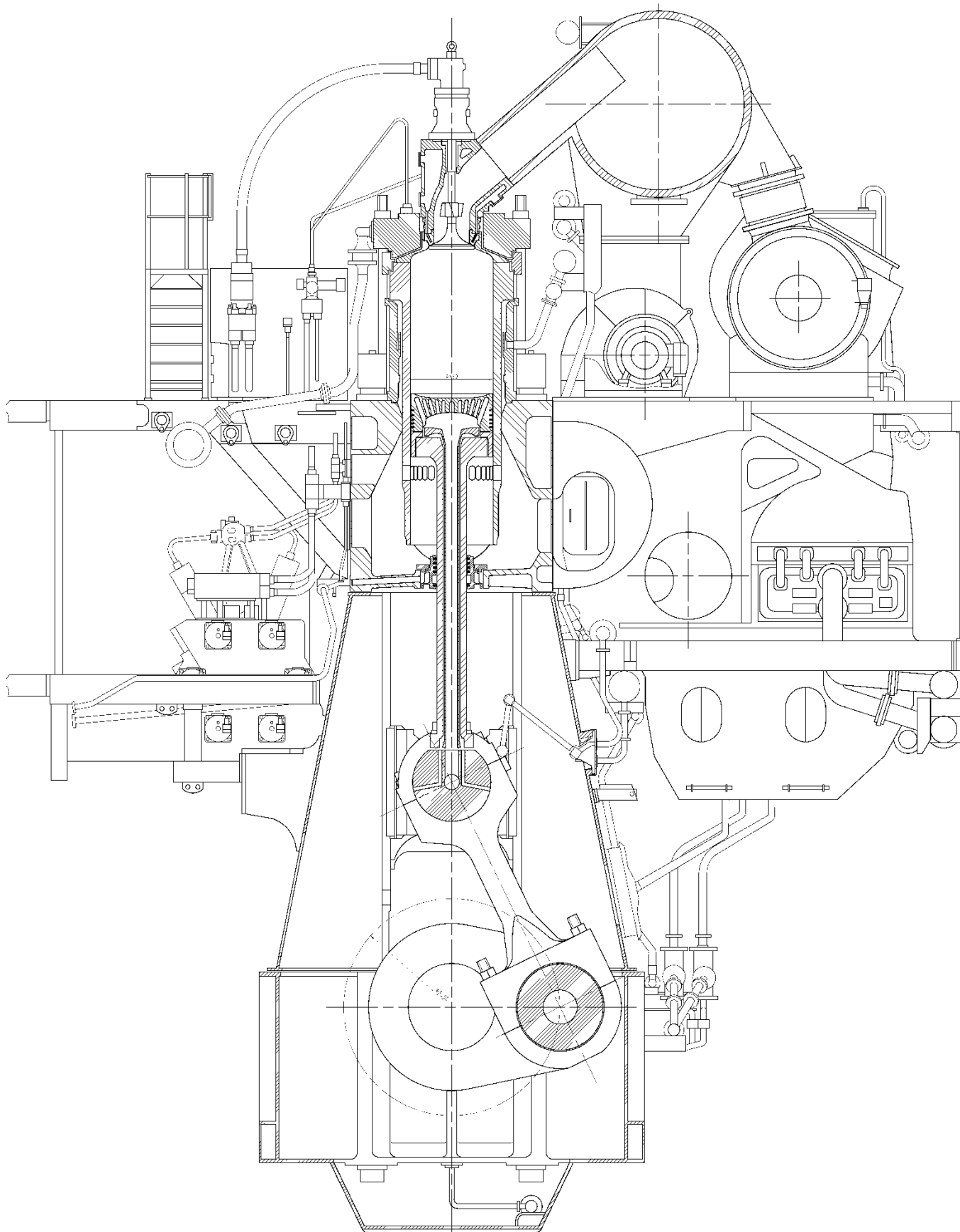


Рисунок 1.1 – Поперечний розріз судового дизеля 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä
(12ДКРН 96/250)

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.22.01.ПЗ

Аркуш

10

Як було відмічена вище, дизель 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä є повністю автоматизованим у керуванні. Так керування складним процесом впорскування циклової порції палива у циліндр, подачею змащувального лубрикаторного масла на поверхню дзеркала циліндрової втулки, а також управління процесом газообміну здійснюється за допомогою спеціально розробленої системи контролю двигуном яка позначається, як WECS. Робота цієї системи базується на цілому ряді встановлених по всьому двигуну швидкодіючих електромагнітних клапанів.

Судновий дизельний двигун серії RTA розробки фірми Wärtsilä можуть обладнуватися двома однаковими турбокомпресорами та відповідно для здійснення охолодження наддувного повітря – двома охолоджувачами (ОНП). При цьому на дизелі 10RT-flex-96C розробки фірми Wärtsilä застосовано ізобарну систему. У системі повітропостачання цих двигунів використовується «Waste gate» що забезпечує на двигуні регулювання оптимальної роботи агрегату наддуву.

Питома ефективна витрата палива для суднових дизельних двигунів серії RTA розробки фірми Wärtsilä є досить низькою та знаходиться у межах від 180 до 182 г/(кВт·год) при 100 % навантаженні двигуна.

Витрата змащувального лубрикаторного масла яке використовується для циліндрових втулок також дуже низька та складає лише 10 кг/циліндр на день. В залежності від характеристик гребного гвинта та швидкості судна двигун серії RTA може мати номінальну частоту обертання на рівні від 92 хв⁻¹ до 102 хв⁻¹.

Дизель 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä має зварену станину (картер), блок робочих циліндрів і відповідно фундаментну раму. В фундаментну раму дизеля інтегровано упорні та корінні підшипники. Остов дизеля 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä має досить надійну та міцну конструкцію хоча більшість його елементів виготовлено з тонкостінної сталі. Жорсткості всієї конструкції остову дизеля також надають міцні анкерні зв'язки, що пронизують усю конструкцію. Колінчастий вал дизеля 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä також має зварну конструкцію, що забезпечує спрощення його виготовлення (тобто вал складений).

Втулка робочого циліндру дизеля 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä має класичне водяне охолодження, а дзеркало (робоча поверхня) змащується маслом, яке пода-

					KPM.142.6221м.25.22.01.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ється за допомогою насосів-лубрикаторів. У індивідуальній на кожен циліндр кришці встановлено випускний клапан та паливні форсунки. Поршень судового дизеля 10RT-flex-96C фірми *Wärtsilä*, як вже зазначалося має примусове охолодження.

В загалом, дизель 10RT-flex-96C фірми *Wärtsilä* (10ДКРН 96/250) має такі параметри та може бути охарактеризований за наступними загальними ознаками:

- спосіб реалізації робочого циклу – двотактний дизельний двигун;
- тип наддуву свіжого повітря – ізобарний (за постійного тиску);
- спосіб займання паливоповітряної суміші у камері згоряння – самозаймання від стиснення повітря до потрібних тиску та температури;
- за принципом своєї дії – двигун простої дії;
- конструктивне виконання кривошипно-шатунного механізму (КШМ) – крейцкопфний;
- за частотою обертання колінчастого валу – малообертовий двигун (МОД з частотою $n = 102 \text{ хв}^{-1}$);
- ступінь стиснення, ϵ – складає – 14;
- ефективна потужність одного циліндра, $N_{e,ц} - 5720,00 \text{ кВт}$;
- номінальна потужність десятициліндрового двигуна, $N_e - 57200 \text{ кВт}$;
- питома ефективна витрата палива, $g_e - 181 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$;
- тиск наддуву дизеля, $p_k - 0,37 \text{ МПа}$;
- за способом здійснення охолодження робочих циліндрів двигуна – двигун з водяним охолодження прісною водою;
- охолоджуюча рідина, яка застосовується для відведення зайвого тепла від наддувного повітря – прісна вода;
- спосіб пуску ДВЗ – від стиснутого повітря.

Дизель 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) фірми *Wärtsilä* запускається в роботу від стисненого повітря, яке надходить, крізь пусковий клапан, у робочій циліндр. Конструкція пускового повітряного клапану двигуна 10RT-flex-96C представлено на рисунку 1.2.

					KPM.142.6221м.25.22.01.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

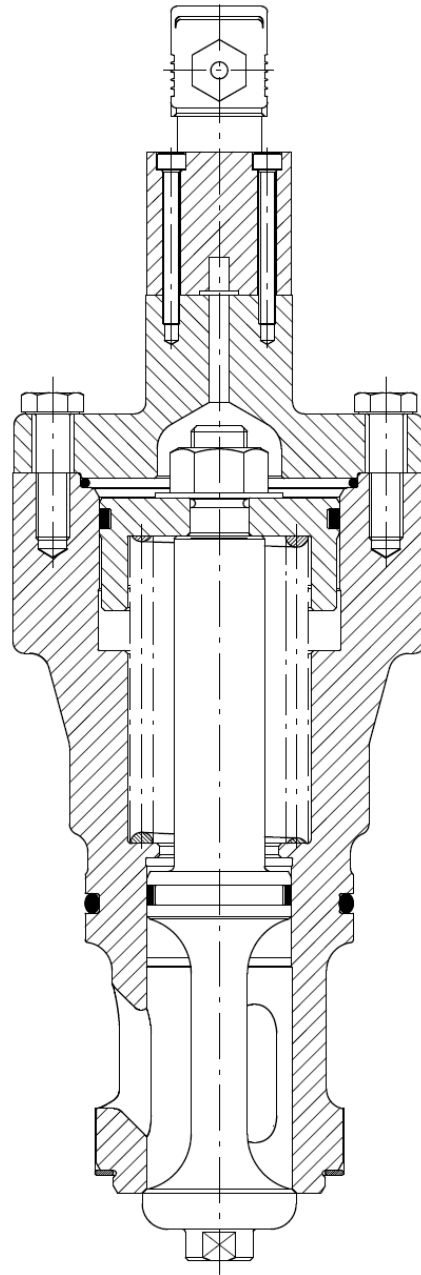


Рисунок 1.2 – Конструктивний устрій пускового повітряного клапану дизеля 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) фірми *Wärtsilä*

Система повітропостачання та система газовідведення дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä слугують для подачі свіжого повітря, яке необхідне для згоряння й продувки циліндра, а також відведення відпрацьованих газів з циліндру після відкриття органів газовипуску (клапану). Суднові дизелі серії RT-flex-96C (ДКРН 96/250) фірми Wärtsilä оснащені ізобарною системою наддуву при постійному тиску. Двигун оснащено одним досить великим випускним колектором, який поєднується з кожним циліндром через спеціальний компенсатор (див.1.5).

					KPM.142.6221м.25.22.01.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

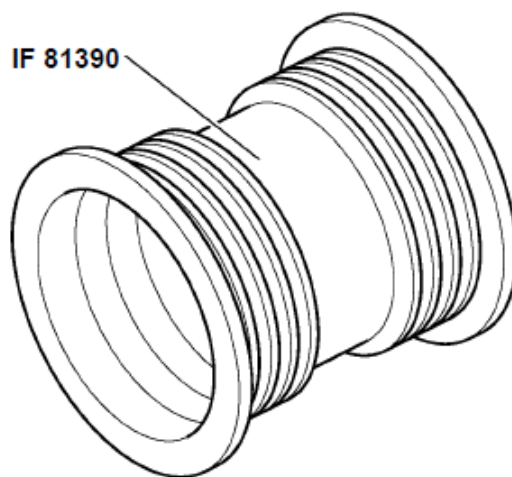


Рисунок 1.5 – Компенсатор системи відведення ВГ дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä

Дизеля серії RT-flex фірми Wärtsilä обладнуються турбокомпресорами АВВ TPL91-В чи МНІ МЕТ90МВ, досить відомих виробників агрегатів наддуву як мають досить високі показники ефективності. На дизелі 10RT-flex-96C встановлено сучасний турбокомпресор АВВ TPL91-В (див. рис. 1.6). Крім того система повітропостачання дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä обладнуються досить сучасним та високоефективним охолоджувачем надувного повітря (ОНП).

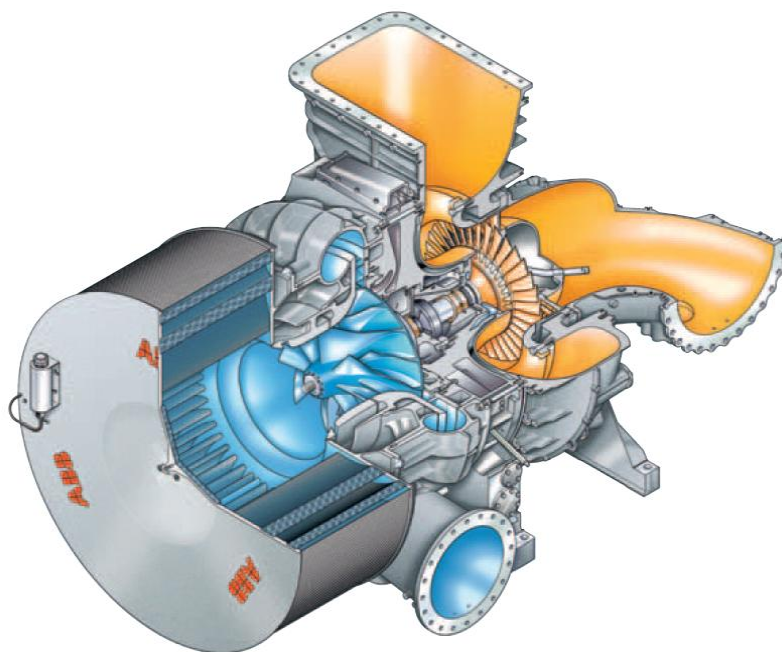


Рисунок 1.6 – Турбокомпресор дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä модель АВВ TPL91-В

Крім цього система повітропостачання дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä обладнується клапаном для перепуску газів типу «waste gate», що встановлюють попереду турбіни. Клапан «waste gate» забезпечує можливість дизелів серії RT-flex стабільно працювати при навантаженні у 30...75 % від номіналу при тому, що на них встановлено досить великий типорозмір турбокомпресора. Такий потужний турбокомпресор розрахований на номінальну потужність дизеля.

Цей клапан для перепуску газів при роботі двигуна серії RT-flex на навантаженні менше 75 % є закритим, а при навантаженнях вище 85 % – повністю відкритий. Схему встановлення клапану для перепуску газів «waste gate» наведено на рис. 1.7.

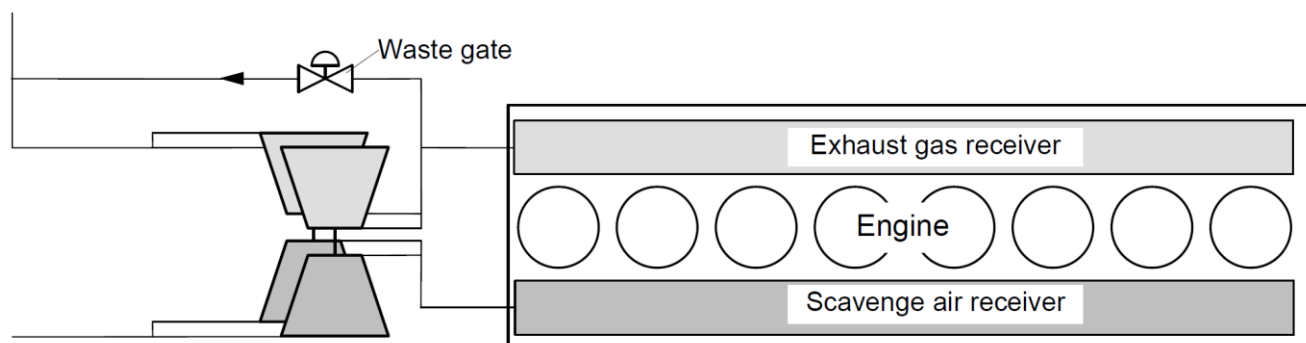


Рисунок 1.7 – Принципова схема розміщення клапану перепуску газів «waste gate»

Для експлуатації дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä на малих навантаженнях, а також при виведенні дизеля на потрібний режим, в системі повітропостачання встановлено електронагнітач (повітродувка яка має електричний привід). Ці електричні повітродувки зазвичай застосовують за відсутності тиску від турбонагнітача. Витрати повітря є достатнім для здійснення процесів наповнення свіжим повітрям та очищення робочого циліндру. Ці електричні повітродувки (зазвичай дві) живляться від напруги у 400/440 В з частотою у 50/60 Гц.

Дизелі серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä мають циркуляційну систему з «сухим» картером, яка є характерною для МОД і СОД. На рис. 1.8 представлено загальну схему масляної системи дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä. Середня температура змащувального масла на вході в дизель 10ДКРН 96/250 складає 40°C, а на виході – 80°C.

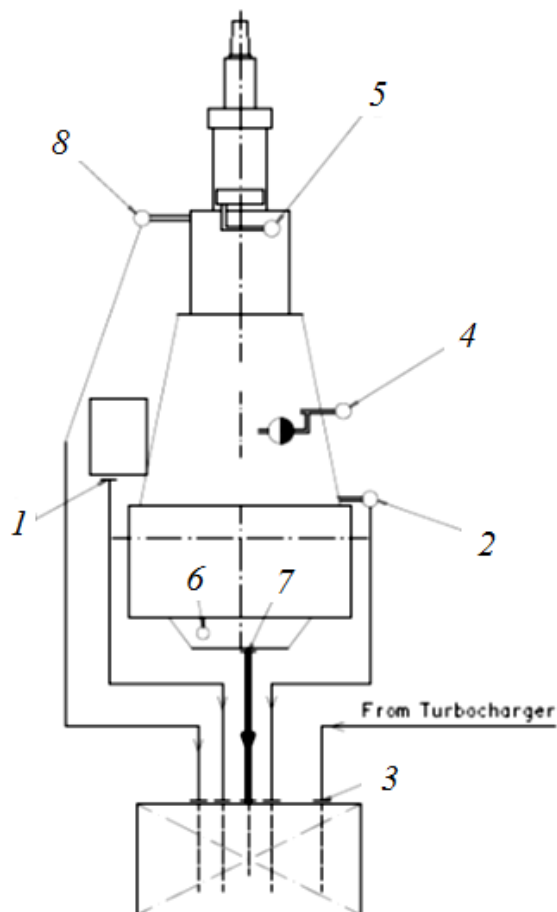


Рисунок 1.8 – Загальна схема масляної системи дизелів серії
RT-flex-96C фірми Wärtsilä:

1 – магістраль зливу масла з допоміжних механізмів двигуна; 2 – злив керуючого масла механізму приводу випускного клапану системи газовипуску; 3 – злив змащувального масла з ТК; 4 – магістраль подачі змащувального масла до дизеля; 5 – магістраль подачі лубрикаторного циліндрового масла; 6 – магістраль додаткового відведення змащувального масла; 7 – магістраль зливу змащувального масла від корінних підшипників дизеля; 8 – злив керуючого масла з сервосистеми

На дизелях серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä застосовують два типи системи охолодження. Зокрема систему з інтегрованим високотемпературним контуром, яка наведена на рис. 1.9 та систему з сепарованим високотемпературним контуром – дивися рис. 1.10. При цьому, що у першій, що у другій системах температура на вході та виході з дизеля є однаковими. Так, температура на вході становить 70°C, а на виході складає близько 85°C.

Cooling with integrated HT circuit

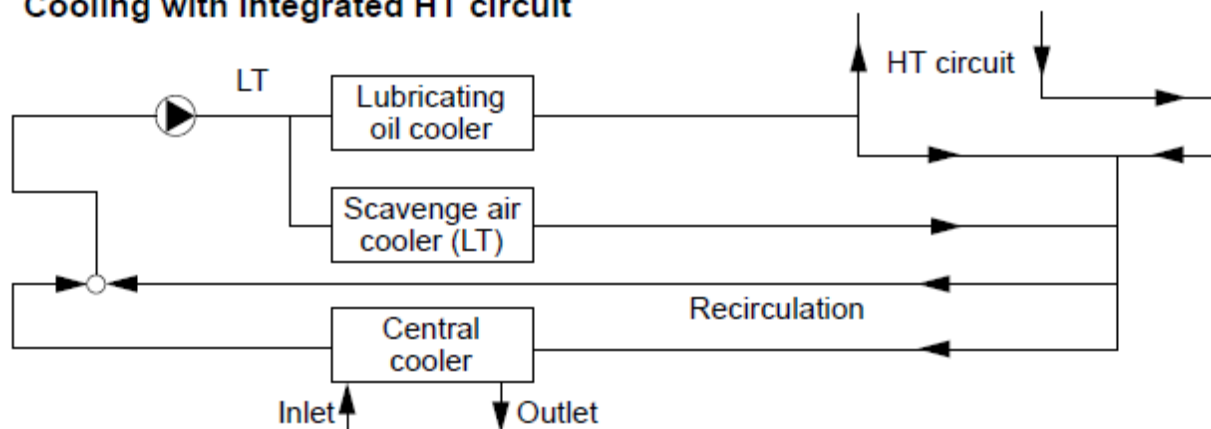


Рисунок 1.9 – Система охолодження дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä з інтегрованим високотемпературним контуром

Cooling with separate HT circuit

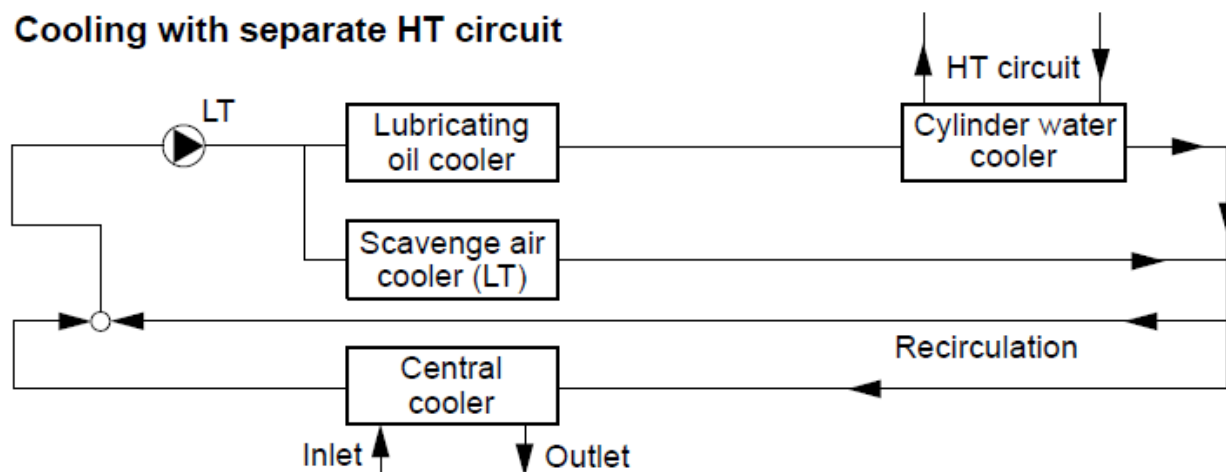


Рисунок 1.10 – Система охолодження дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä з високотемпературним сепараційним контуром

Як зазначалося дизеля серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä встановлюється на суднах у якості головний з роботою на пряму на гвинт постійного кроку. Відповідно, переважним режимом роботи таких дизелів є номінальний режим. Гвинтова характеристика є залежністю потужності двигуна (або інших параметрів) від обертів при роботі на гвинт.

Режими навантаження дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä, показані на рис. 1.11. Точки на графіку відповідають наступному:

- R_1 – 100% N_e , 100% n ;
- R_2 – 100% N_e , 100% n ;

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.22.01.ПЗ

Аркуш

17

– R_3 – 90% N_e , 90% n ;

– R_4 – 70% N_e , 90% n .

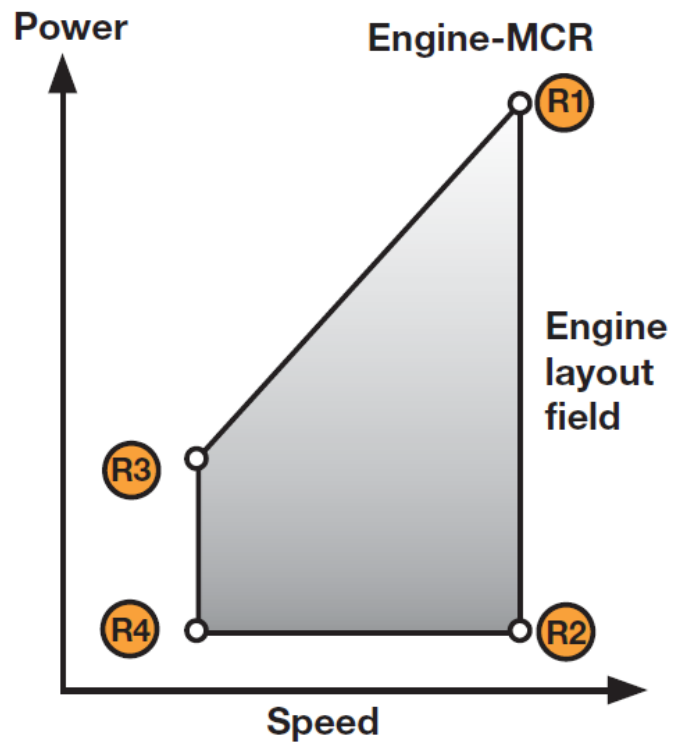


Рисунок 1.11 – Гвинтова характеристика дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä

1.2. Висновок до розділу

У розділі було розглянуто основні параметри та особливості конструкції малообертових дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä. Поперечний розріз дизеля 10ДКРН 96/250 (10RT-flex-96C) у магістерській роботі представлено кресленням формату А1.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДЛЯ НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ СУДНОВОГО МОД

2.1. Загальна характеристика застосованої математичної моделі робочого циклу

Для виконання розрахунку робочого циклу суднового МОД 10RT-flex-96C (за ДСТУ маркується, як 10ДКРН 96/250) виробництва відомого виробника суднових двигунів Wärtsilä на номінальному режимі роботи та проведення подальших досліджень впливу параметрів налаштування паливної апаратури на ефективні показники (розділ 3) застосовується модель, яка базується на вирішенні системи диференціальних рівнянь на базі квазістаціонарного (феноменологічного) підходу і відноситься до третього покоління термодинамічних математичних моделей.

Суть квазістаціонарного підходу, який застосовується для вирішення потрібної системи диференціальних рівнянь у моделі розрахунку циклу, полягає у тому, що усі параметри робочого тіла у обраному за крок розрахунку проміжку часу (наприклад, $0,5 \dots 1^\circ$ п.к.в.) вважаються однаковими у всіх точках термодинамічної системи.

Математична модель забезпечує моделювання дійсних термодинамічних процесів у циліндрі двигуна внутрішнього згоряння. В результаті виконаного моделювання отримуються індикаторні ККД та робота циклу, робота насосних ходів, витрата газів у впускних та випускних клапанах або вікнах, в турбінній і компресорній частинах агрегату наддуву. Ефективні показники визначаються шляхом задавання або приблизного розрахунку механічного ККД.

Розрахунковий цикл у програмі складає тривалість термодинамічного циклу, чисельне інтегрування диференціальних рівнянь термодинаміки реалізується методом Ейлера, а при завершенні кожного циклу розрахунку – перевіряються умови збіжності потужності, наддуву або іншого параметру.

					<i>KPM.142.6221м.25.22.02.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

До складу математичної моделі розрахунку робочого циклу входять основні рівняння термодинаміки і тепло- масообміну, різні алгебраїчні рівняння граничних умов, емпіричні коефіцієнти й фізичні константи, а також балансові рівняння, що визначають показники ефективності циклу та двигуна в цілому.

У математичній моделі розрахунку робочого циклу реалізовано термодинамічний метод, в якому простір робочого циліндру двигуна внутрішнього згоряння, ресиверів, колекторів та трубопроводів систем впуску та випуску розглядаються як відкрита термодинамічна система, склад робочого тіла якої безперервно змінюється (наприклад, процеси згоряння та газообміну). Внутрішня енергія робочої газової суміші визначається з урахуванням залежності теплоємності від температури і складу газової суміші.

В математичній моделі закон тепловиділення задається двома способами (за вибором дослідника): емпіричним рівнянням Вібе або за методикою Разлейцева.

Граничні умови визначаються умовами обміну масою і теплотою термодинамічної системи з навколишнім середовищем і з іншими частинами складної термодинамічної системи. Вони виражені рівняннями граничних умов і розподілом термічного стану на границях. Тепловіддачу в стінки деталей двигуна внутрішнього згоряння, що утворюють камеру згоряння, визначаються за допомогою рівняння Ньютона-Рихмана.

У математичній моделі при розрахунках витрати газів у клапанах та вікнах враховується зворотний потік (закид і зворотний викид) газів із робочого циліндра і навпаки.

2.2. Розрахунок робочого циклу суднового МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C

Як зазначалося у першому розділі дизеля серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä встановлюється на суднах у якості головний з роботою на пряму на гвинт постійного кроку, відповідно, основним режимом для дизеля 10ДКРН 96/250 є номінальний. Відповідно до цього у даному розділі виконується розрахунок саме цього режиму роботи двигуна 10RT-flex-96C. Вихідні данні (табл. 2.1) та резуль-

					<i>KPM.142.6221м.25.22.02.ПЗ</i>	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

тати моделювання представлено у табличному (табл. 2.2) та графічному (рис. 2.1–2.5) вигляді.

Таблиця 2.2 – Початкові дані для моделювання номінального режиму навантаження двигуна 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä

№ з.п.	Назва відповідного параметру	Позначення / одиниця вимірювання	Значення
1.	Діаметр циліндра	D , м	0,960
2.	Хід поршня дизеля	S , м	2,500
3.	Кількість робочих циліндрів	i_z	10
4.	Частота обертання колінчатого валу	n , хв^{-1}	102
5.	Ефективна потужність	N_e , кВт	57200
6.	ККД механічний	η_m	0,95
7.	Ступінь стискання	ε	14
8.	Кривошипно-шатунне відношення	λ	0,435
9.	Ступінь підвищення тиску повітря у ТК	Π_k	3,725
10.	Температура повітря (навколишня)	T_0 , К	293
11.	Тиск навколишнього середовища	P_0 , кПа	100,2
12.	Втрата тиску повітря при охолодженні у ОНП	ΔP_k , кПа	2
13.	Опір вихлопної системи	ΔP_b , кПа	4
14.	ККД компресора адіабатний	$\eta_{a.k}$	0,845
15.	ККД турбіни адіабатний	$\eta_{a.t}$	0,835
16.	ККД турбокомпресора механічний	$\eta_{m.tk}$	0,96
17.	Температура води при вході у ОНП	$T_w^{\text{ОНП}}$, К	293
18.	ККД системи охолодження ОНП	η_{co} , К	0,96
19.	Число робочих циліндрів, які об'єднано спільною секцією випуск. колектора	i_{z1k}	10
20.	Відношення об'єму секції випуск. кол. до робочого об'єму циліндра дизеля	$V_{в.к.}/V_s$	40
21.	Константа імпульсності турбіни	Φ	1
22.	Кут початку упорскування	$\varphi_{н.вп.}$, град. п.к.в.	175
23.	Тривалість уприскування	$\varphi_{впр.}$, град. п.к.в.	28
24.	Кут відкриття вип. клапану	$\varphi_{о.вип.}$, град. п.к.в.	290
25.	Кут закриття вип. клапану	$\varphi_{з.вип.}$, град. п.к.в.	58
26.	Кут відкриття вікон продування	$\varphi_{о.вп.}$, град. п.к.в.	320
27.	Кут закриття вікон продування	$\varphi_{з.пв.}$, град. п.к.в.	40
28.	Тривалість відкривання вікон продування	$\varphi_{т.в.пв.}$, град. п.к.в.	40
29.	Тривалість відкривання вип. клапану	$\varphi_{т.в.вип.}$, град. п.к.в.	63
30.	Тривалість закривання вікон продування	$\varphi_{т.з.пв.}$, град. п.к.в.	40
31.	Тривалість закривання вип. клапану	$\varphi_{т.з.вип.}$, град. п.к.в.	63
32.	Ширина вікон продування	$b_{пр.}^в.$, м	0,08
33.	Кількість вікон продування	$n_{пр.}^в.$	25
34.	Діаметр випускного клапану	$d_{вип.}^{кл.}$, м	0,5088
35.	Кількість вип. клапанів	$n_{вип.}^{кл.}$	1

36.	Висота вікон продування	$h_{\text{вп.}}^{\text{в.}}, \text{ м}$	0,2
37.	Висота підйому вип. клапанів	$h_{\text{вип.}}^{\text{кл.}}, \text{ м}$	0,15264
38.	Кут конусу тарілки вип. клапанів	$\alpha_{\text{вип.}}^{\text{кл.}}, \text{ град.}$	45
39.	Коефіцієнт витрати для вікон продування	$\mu_{\text{вп.}}^{\text{к.}}$	0,825
40.	Коефіцієнт витрати для вікон продування	$\mu_{\text{вып.}}^{\text{к.}}$	0,825
41.	Пропускна здатність для турбіни	$\mu F_{t.}, \text{ м}^2$	0,265
42.	Показник характеру згоряння	m	0,4
43.	Частка згорілого пального до кінця згоряння	X_z	0,99
44.	Коефіцієнт у формулі Толстого (для розрахунку часу затримки займання)	A_i	0,0000038
45.	Коефіцієнт у формулі Толстого для визначення часу затримки займання палива	k_n	0,00016
46.	Нижча теплота згоряння пального	$Q_n, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	42700
47.	Умовна енергія активації	E_a	25000
48.	Кількість форсунок	$i_{\text{фор}}$	2
49.	Кількість соплових отворів розпилювача форсунки	i_c	6
50.	Діаметр соплових отворів розпилювача форсунки	$d_{\text{с.о.}}, \text{ м}$	0,0008
51.	Коефіцієнт у формулі для розрахунку середнього діаметра крапель	E_c	1,7
52.	Константа часу випаровування великих крапель пального	$A_{z.i}, \text{ с}^{-1}$	12
53.	Товщина стінки втулки робочого циліндру	$\Delta_s, \text{ м}$	0,04
54.	Коефіцієнт термічного опору для стінки втулки	$R_{\text{ствт}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,3
55.	Коефіцієнт термічного опору для стінки кришки робочого циліндру	$R_{\text{сткр}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,3
56.	Коефіцієнт термічного опору для стінки поршня	$R_{\text{стпр}}, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$	0,3
57.	Довжина охолоджуваної частини втулки (закладається у відсотках від ходу поршня дизеля)	$h_{\text{ов}}, \%$	80
58.	Частка теплоти тертя, що відводиться з охолоджувальною рідиною	$\alpha_{\text{тр.в}}$	0,78
59.	Частка теплоти тертя, що відводиться у масло	$\alpha_{\text{тр.м}}$	0,22
60.	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки втулки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{вт}}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3
61.	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки кришки до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{кр}}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	3
62.	Коефіцієнт тепловіддачі від стінки поршня до охолоджувальної рідини	$\alpha_w^{\text{пр}}, \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	2,5
63.	Значення коефіцієнта А в рівнянні Вошні	A	60
64.	Тангенціальна швидкість внутрішньоциліндрового вихору всередині циліндра	c_t	0
65.	Коефіцієнт	$C_2, \text{ К}^{-1}$	3,24
66.	Середня температура води в сорочці охолодження двигуна	$T_w^{\text{вт}}, \text{ К}$	358
67.	Середня температура води в кришці циліндру двигуна	$T_w^{\text{кр}}, \text{ К}$	358
68.	Середня температура масла, що охолоджує поршень	$T_w^{\text{пр}}, \text{ К}$	373

Таблиця 2.2 – Результати моделювання номінального режиму навантаження двигуна 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä

№ з/п	Найменування параметру	Позначення / розмірність	Значення
1	Ефективна потужність ДВЗ	N_e , кВт	57158,05
2	Питома ефективна витрата палива ДВЗ	g_e , кг/(кВт·год)	0,1808
3	Ступінь підвищення тиску в компресорі	Π_k	3,723
4	Тривалість згоряння	$\varphi_{зг.}$, град.	82,75
5	Кут затримки займання палива	$\varphi_{з.}^{восп.}$, град.	1
6	Кут початку видимого згоряння	$\varphi_{н.}^{згор.}$, град.	176
7	Середній тиск впорскування всієї порції палива	P_{inj} , МПа	109,739
8	Середній діаметр крапель	d_{32} , мкм	14,952
9	Кут, під яким факел досягає стінок камери згоряння	φ_{wall} , град.	5
10	Тривалість взаємодії факела зі стінками камери згоряння	φ_{fr} , град.	6
11	Максимальний тиск згоряння	P_z , кПа	17109,22
12	Максимальна температура згоряння	T_z , К	1911,19
13	Середній індикаторний тиск	P_i , кПа	1955,89
14	Середній ефективний тиск	P_e , кПа	1858,10
15	Тиск повітря в ресивері	P_s , кПа	371,09
16	Температура повітря в ресивері	T_s , К	299,32
17	Тиск суміші наприкінці стиснення	P_c , кПа	10595,32
18	Температура суміші наприкінці стиснення	T_c , К	950,27
19	Середня температура газів перед турбіною	T_t , К	661,6
20	Середній тиск газів перед турбіною	P_t , кПа	346,8
21	Середня температура газів за турбіною	T_{3t} , К	649,6
22	Температура газів у момент відкриття випускного клапана	T_b , К	1140,7
23	Тиск газів у момент відкриття випускного клапана	P_b , кПа	1209,6
24	Температура наддувного повітря	T_k , К	451,0750
25	Температура залишкових газів	T_r , К	1032,83
26	Тепло, відведене у воду	Q_w , кВт	5476,1
27	Тепло, відведене в масло	Q_m , кВт	1491,9
28	Тепло, що відводиться в ОНП від стиснутого повітря	$Q_w^{ОНП}$, кВт	14629,1
29	Тепло, що втрачається з ВГ	$Q_w^{ВГ}$, кВт	36438,8
30	Витрата повітря через компресор	G_k , кг/с	91,8108
31	Витрата газу через газову турбіну	G_t , кг/с	92,7472
32	Потужність турбіни газової турбіни	N_{et} , кВт	14578,3031
33	Потужність компресора	N_{ek} , кВт	14569,7269
34	Коефіцієнт залишкових газів	γ_r	0,0742
35	Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні	α	2,16
36	Коефіцієнт продувки	φ_a	1,242

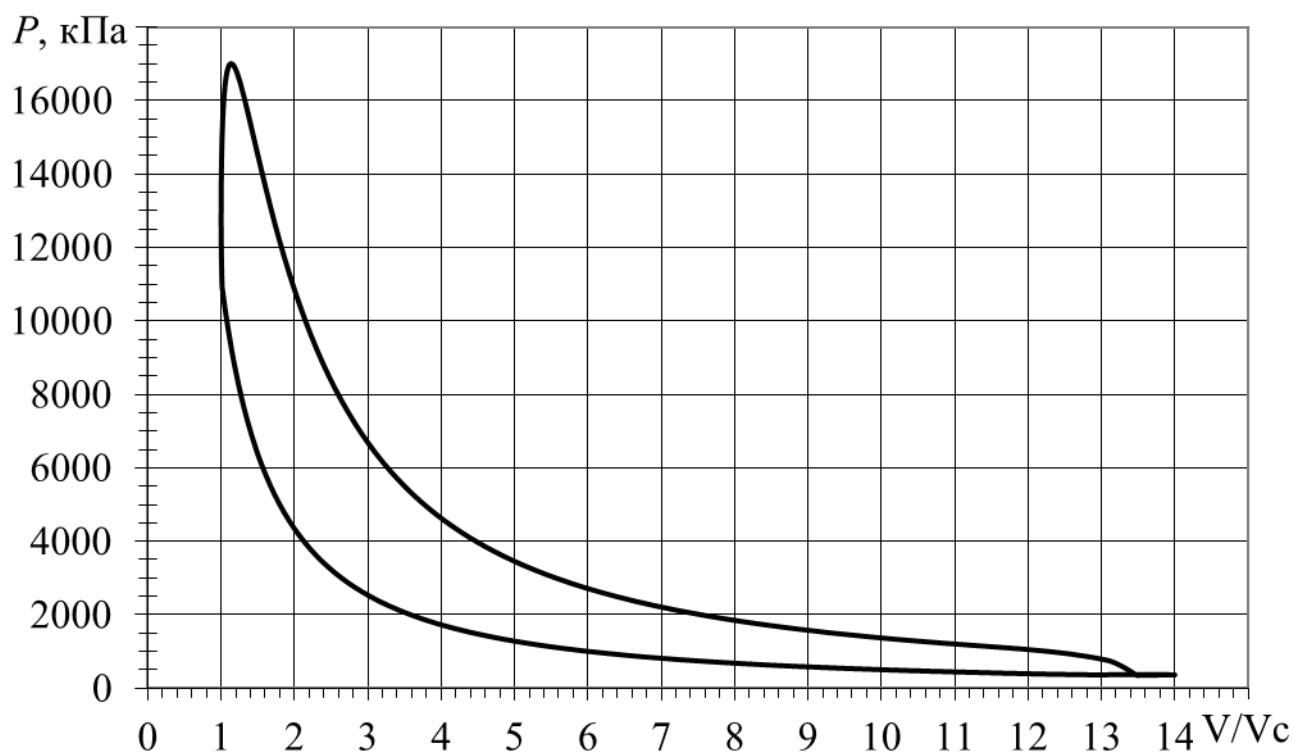


Рисунок 2.1 – Згорнута індикаторна діаграма головного дизельного двигуна 10RT-flex-96С фірми Wärtsilä

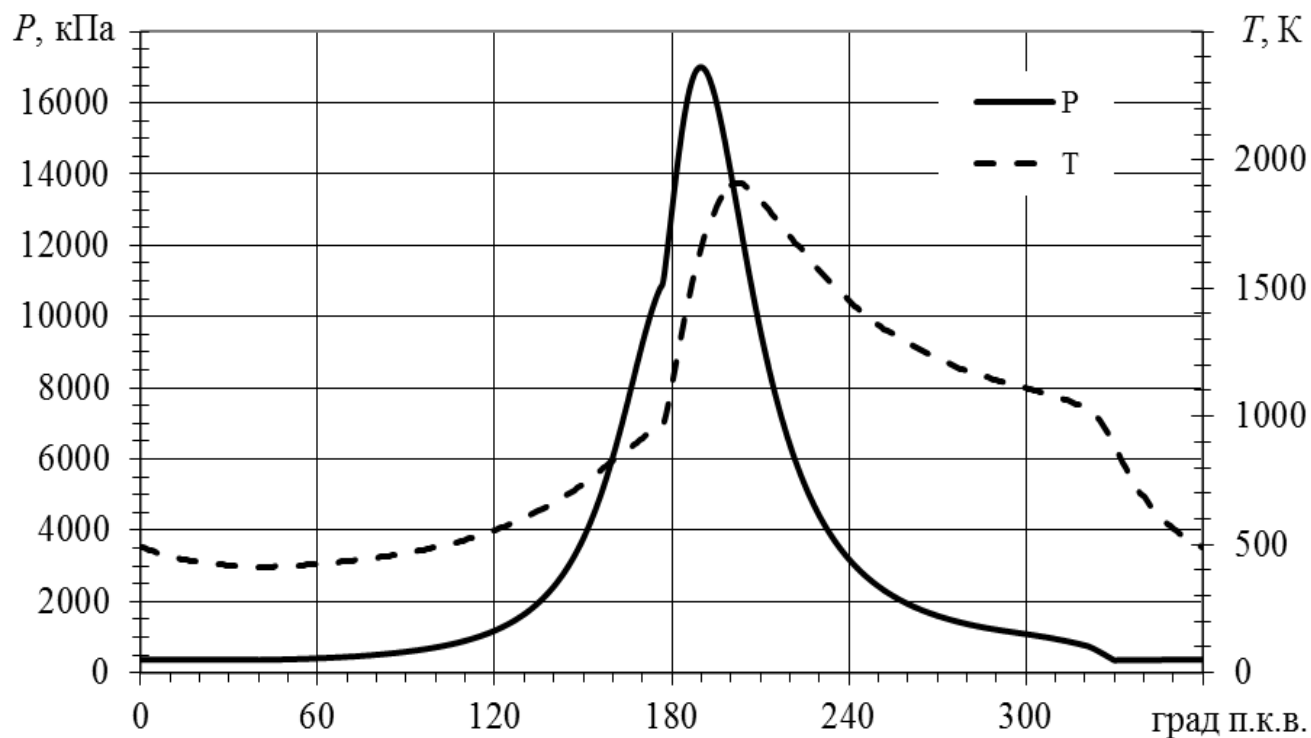


Рисунок 2.2 – Розгорнуті діаграми тиску та температури головного дизельного двигуна 10RT-flex-96С фірми Wärtsilä

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.22.02.ПЗ

Аркуш

24

dQ , кВт/м²К

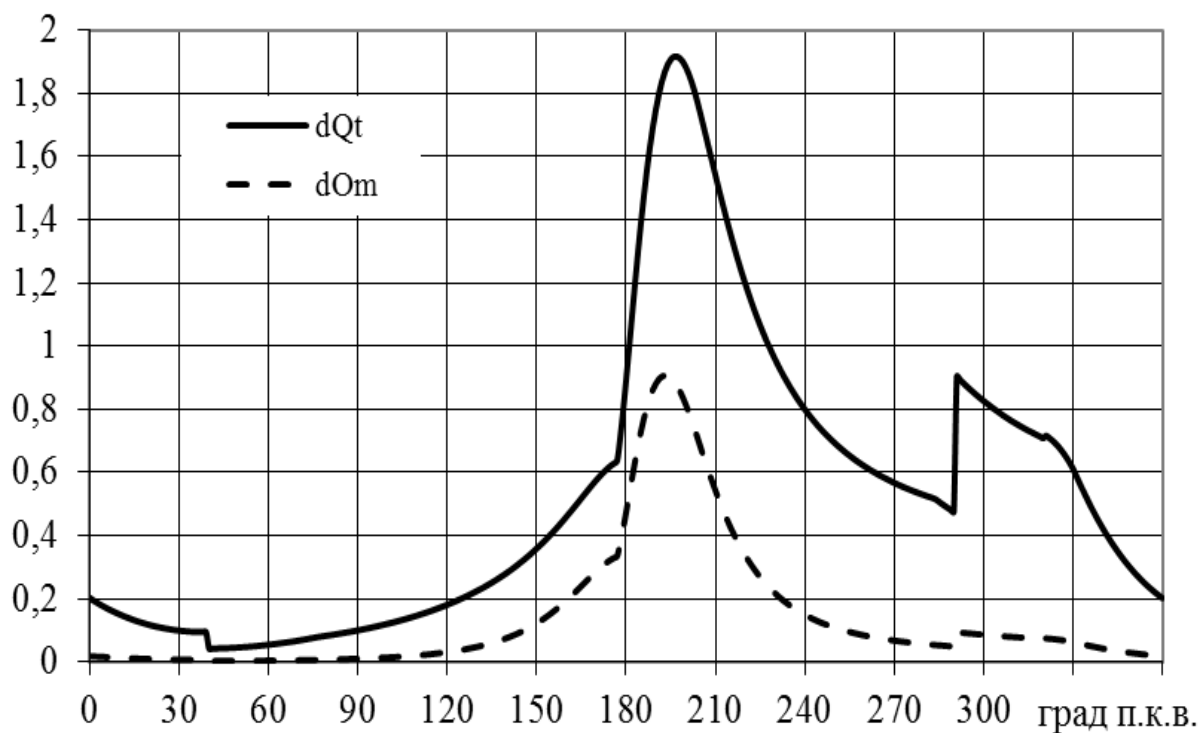


Рисунок 2.3 – Втрати тепла у масло і воду головного дизельного двигуна 10RT-flex-96С фірми Wärtsilä

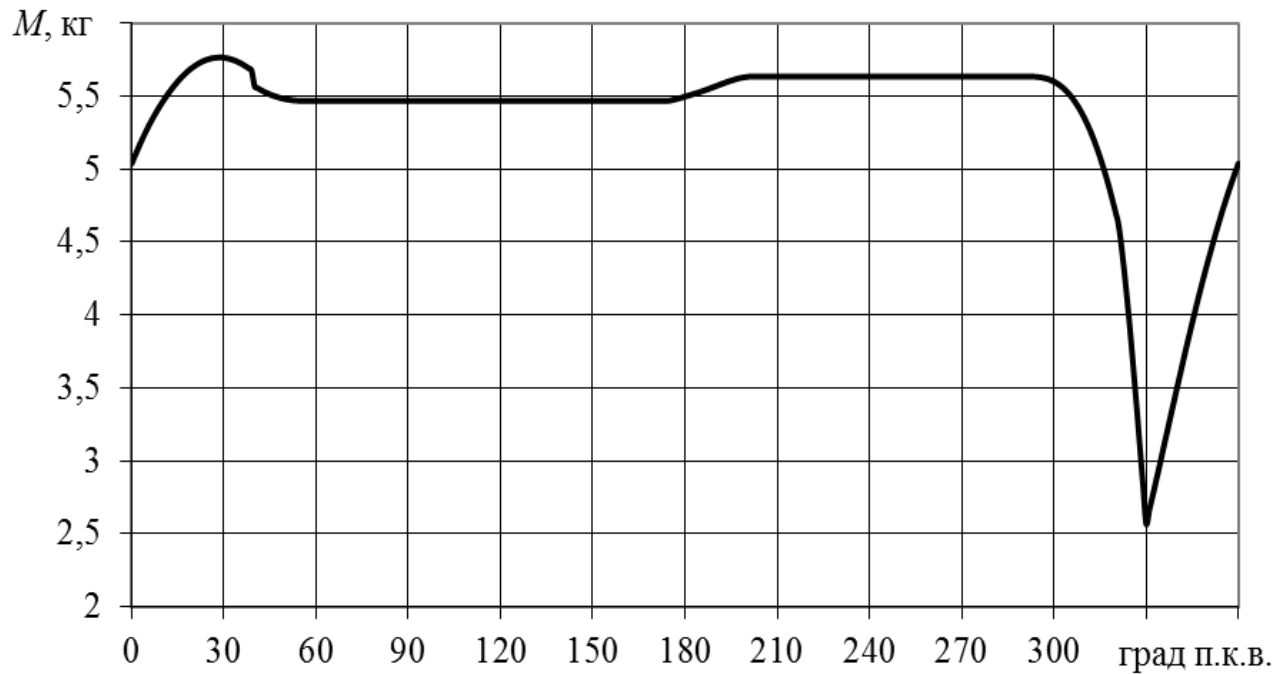


Рисунок 2.4 – Зміна маси робочого тіла у циліндрі головного дизельного двигуна 10RT-flex-96С фірми Wärtsilä

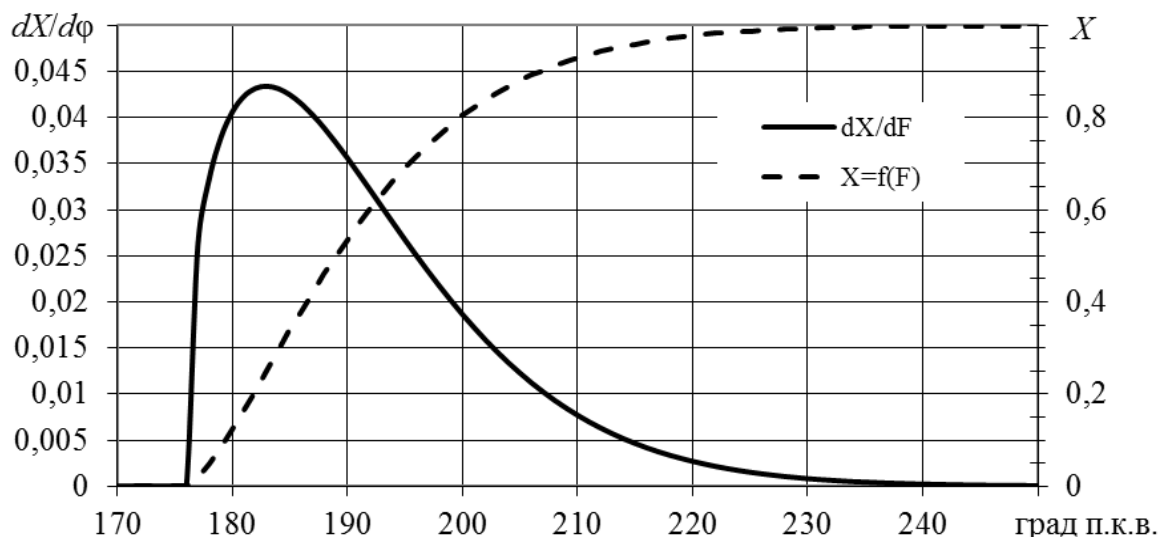


Рисунок 2.5 – Відносні характеристики процесу вигорання палива дизельного двигуна 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä

2.3. Розрахунок динаміки суднового МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C

Розрахунок динаміки суднового МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C виконується також для номінального режиму навантаження дизеля. Вихідними даними для розрахунку взято з таблиць 2.1 та 2.2, а також паспорту та креслення самого суднового дизеля. Результати динамічного розрахунку суднового МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C представлено у табл. 2.3 та рисунках 2.6–2.9.

Таблиця 2.3 – Результати динамічного розрахунку суднового МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C

φ	S_ϕ	V_ϕ	J_ϕ	P_i	P_r	P_A	N	Z	T	T_z	T^{p_z}	Z_I
град. п.к.в.	м	м/с	м/с ²	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа
0	2,5	0	-30,941919	667,916	364,726	1032,64	0,12486	-1032,6	0,16217	6043,54	6635,459	-676,617
1	2,49989156	-0,0505606	-30,94809	668,05	365,152	1033,2	-7,8022	-1033,2	-10,135	6059,572	6635,459	-677,156
2	2,49956796	-0,1011413	-30,966587	668,449	365,406	1033,85	-15,655	-1033,8	-20,339	6109,561	6635,459	-677,748
3	2,49902912	-0,1517623	-30,997366	669,113	365,612	1034,72	-23,52	-1034,5	-30,568	6190,235	6635,459	-678,516
4	2,4982749	-0,2024435	-31,040349	670,041	365,796	1035,84	-31,403	-1035,5	-40,831	6300,169	6635,459	-679,484
5	2,4973051	-0,2532049	-31,095433	671,23	365,965	1037,2	-39,308	-1036,7	-51,14	6426,654	6635,459	-680,654
6	2,49611946	-0,3040661	-31,162481	672,678	366,116	1038,79	-47,24	-1038	-61,503	6566,731	6635,459	-682,021
7	2,49471767	-0,3550465	-31,241327	674,379	366,247	1040,63	-55,201	-1039,6	-71,931	6726,469	6635,459	-683,579
8	2,49309936	-0,4061653	-31,331777	676,332	366,344	1042,68	-63,196	-1041,3	-82,431	6884,538	6635,459	-685,307
9	2,49126412	-0,4574411	-31,433608	678,53	366,44	1044,97	-71,23	-1043,3	-93,014	7034,919	6635,459	-687,232
10	2,48921145	-0,5088925	-31,546564	680,968	366,539	1047,51	-79,308	-1045,4	-103,69	7172,294	6635,459	-689,35
11	2,48694084	-0,5605373	-31,670366	683,641	366,642	1050,28	-87,433	-1047,7	-114,47	7292,26	6635,459	-691,655
12	2,48445168	-0,6123931	-31,804702	686,541	366,749	1053,29	-95,608	-1050,2	-125,37	7391,426	6635,459	-694,138
13	2,48174334	-0,6644768	-31,949235	689,661	366,859	1056,52	-103,84	-1052,8	-136,38	7467,444	6635,459	-696,788
14	2,47881513	-0,7168047	-32,103601	692,993	366,973	1059,97	-112,12	-1055,6	-147,53	7518,989	6635,459	-699,595
15	2,47566663	-0,7693925	-32,267406	696,529	367,091	1063,62	-120,47	-1058,6	-158,81	7545,697	6635,459	-702,548
16	2,47229606	-0,8222555	-32,440234	700,259	367,212	1067,47	-128,88	-1061,7	-170,24	7548,079	6635,459	-705,635
17	2,46870355	-0,8754079	-32,621639	704,175	367,337	1071,51	-137,35	-1064,9	-181,83	7527,4	6635,459	-708,841
18	2,46488789	-0,9288634	-32,811153	708,266	367,464	1075,73	-145,88	-1068,2	-193,57	7485,568	6635,459	-712,154
19	2,46084813	-0,9826349	-33,008283	712,521	367,595	1080,12	-154,48	-1071,6	-205,48	7424,996	6635,459	-715,559

20	2,45658329	-1,0367343	-33,212511	716,93	367,728	1084,66	-163,14	-1075,1	-217,56	7348,484	6635,459	-719,041
21	2,45209232	-1,0911729	-33,423297	721,48	367,865	1089,34	-171,87	-1078,6	-229,82	7259,09	6635,459	-722,583
22	2,44737416	-1,1459608	-33,640079	726,159	368,004	1094,16	-180,67	-1082,2	-242,26	7160,013	6635,459	-726,169
23	2,44242768	-1,2011075	-33,862271	730,956	368,146	1099,1	-189,52	-1085,8	-254,88	7054,485	6635,459	-729,782
24	2,43725173	-1,2566212	-34,08927	735,856	368,29	1104,15	-198,44	-1089,4	-267,7	6945,653	6635,459	-733,403
25	2,4318451	-1,3125093	-34,32045	740,846	368,436	1109,28	-207,42	-1093	-280,7	6836,528	6635,459	-737,014
26	2,42620656	-1,3687782	-34,555169	745,913	368,586	1114,5	-216,45	-1096,6	-293,9	6729,843	6635,459	-740,595
27	2,42033486	-1,425433	-34,792763	751,041	368,737	1119,78	-225,53	-1100,2	-307,3	6627,926	6635,459	-744,128
28	2,41422867	-1,4824779	-35,032553	756,217	368,891	1125,11	-234,67	-1103,6	-320,89	6532,676	6635,459	-747,591
29	2,40788667	-1,5399159	-35,273846	761,426	369,048	1130,47	-243,84	-1107	-334,67	6445,497	6635,459	-750,964
30	2,40130751	-1,5977489	-35,515929	766,652	369,208	1135,86	-253,06	-1110,3	-348,65	6367,25	6635,459	-754,225
31	2,3944898	-1,6559776	-35,758077	771,879	369,371	1141,25	-262,31	-1113,4	-362,83	6298,205	6635,459	-757,354
32	2,38743213	-1,7146016	-35,999554	777,091	369,538	1146,63	-271,58	-1116,4	-377,19	6238,086	6635,459	-760,329
33	2,38013308	-1,773619	-36,239607	782,273	369,71	1151,98	-280,87	-1119,2	-391,73	6186,047	6635,459	-763,127
34	2,37259121	-1,833027	-36,477477	787,408	369,887	1157,3	-290,18	-1121,8	-406,46	6111,938	6635,459	-765,726
35	2,36480505	-1,8928213	-36,712389	792,479	370,072	1162,55	-299,49	-1124,1	-421,36	6061,785	6635,459	-768,105
36	2,35677315	-1,9529965	-36,943565	797,469	370,265	1167,73	-308,79	-1126,3	-436,44	6043,54	6635,459	-770,242
37	2,34849403	-2,0135459	-37,170215	802,361	370,469	1172,83	-318,08	-1128,1	-451,67	0	0	-772,113
38	2,33996621	-2,0744613	-37,391544	807,139	370,683	1177,82	-327,34	-1129,7	-467,06	0	0	-773,697
39	2,33118823	-2,1357335	-37,60675	811,784	370,902	1182,69	-336,57	-1131	-482,59	0	0	-774,962
40	2,32215861	-2,1973518	-37,815028	816,28	363,063	1179,34	-343,41	-1124,2	-494,87	0	0	-768,199
41	2,3128759	-2,2593042	-38,015568	820,609	363,689	1184,3	-352,6	-1125,2	-510,73	0	0	-769,158
42	2,30333864	-2,3215774	-38,207559	824,754	364,46	1189,21	-361,76	-1125,9	-526,77	0	0	-769,859
43	2,29354541	-2,3841567	-38,390188	828,696	365,386	1194,08	-370,9	-1126,3	-542,98	0	0	-770,285
44	2,28349481	-2,4470263	-38,562644	832,418	366,463	1198,88	-379,99	-1126,4	-559,34	0	0	-770,406
45	2,27318545	-2,5101687	-38,724114	835,904	367,693	1203,6	-389,03	-1126,2	-575,86	0	0	-770,198
46	2,26261599	-2,5735655	-38,87379	839,135	369,077	1208,21	-398	-1125,7	-592,51	0	0	-769,639
47	2,25178513	-2,6371967	-39,010867	842,094	370,618	1212,71	-406,91	-1124,7	-609,28	0	0	-768,705
48	2,2406916	-2,7010409	-39,134544	844,764	372,318	1217,08	-415,72	-1123,4	-626,17	0	0	-767,373
49	2,22933418	-2,7650758	-39,244027	847,127	374,177	1221,3	-424,43	-1121,6	-643,15	0	0	-765,621
50	2,21771173	-2,8292775	-39,338528	849,167	376,199	1225,37	-433,03	-1119,4	-660,2	0	0	-763,424
51	2,20582314	-2,8936207	-39,417269	850,866	378,381	1229,25	-441,51	-1116,8	-677,32	0	0	-760,761
52	2,19366737	-2,9580793	-39,479479	852,209	380,724	1232,93	-449,84	-1113,6	-694,48	0	0	-757,607
53	2,18124348	-3,0226254	-39,5244	853,179	383,227	1236,41	-458,02	-1110	-711,66	0	0	-753,938
54	2,16855059	-3,0872303	-39,551283	853,759	385,885	1239,64	-466,03	-1105,8	-728,84	0	0	-749,731
55	2,1555879	-3,1518639	-39,559394	853,934	388,696	1242,63	-473,85	-1101	-745,98	0	0	-744,962
56	2,14235472	-3,216495	-39,548013	853,689	391,653	1245,34	-481,47	-1095,6	-763,07	0	0	-739,607
57	2,12885045	-3,281091	-39,516432	853,007	394,749	1247,76	-488,86	-1089,7	-780,07	0	0	-733,64
58	2,1150746	-3,3456185	-39,463964	851,874	397,976	1249,85	-496,01	-1083,1	-796,95	0	0	-727,037
59	2,10102679	-3,4100427	-39,389934	850,276	401,324	1251,6	-502,91	-1075,8	-813,68	0	0	-719,774
60	2,08670677	-3,4743278	-39,29369	848,199	404,788	1252,99	-509,53	-1067,9	-830,22	0	0	-711,833
61	2,07211441	-3,5384372	-39,174595	845,628	408,372	1254	-515,85	-1059,2	-846,55	0	0	-703,205
62	2,05724972	-3,6023328	-39,032034	842,551	412,081	1254,63	-521,87	-1049,9	-862,64	0	0	-693,882
63	2,04211285	-3,665976	-38,865414	838,954	415,919	1254,87	-527,58	-1039,9	-878,46	0	0	-683,859
64	2,02670411	-3,7293268	-38,674163	834,826	419,89	1254,72	-532,95	-1029,2	-893,97	0	0	-673,13
65	2,01102395	-3,7923447	-38,457733	830,154	423,998	1254,15	-537,98	-1017,7	-909,16	0	0	-661,693
66	1,995073	-3,854988	-38,215599	824,927	428,25	1253,18	-542,66	-1005,6	-923,99	0	0	-649,548
67	1,97885205	-3,9172143	-37,947262	819,135	432,649	1251,78	-546,97	-992,72	-938,43	0	0	-636,694
68	1,96236209	-3,9789805	-37,652247	812,766	437,202	1249,97	-550,91	-979,16	-952,45	0	0	-623,136
69	1,94560426	-4,0402425	-37,330107	805,813	441,913	1247,73	-554,46	-964,9	-966,03	0	0	-608,878
70	1,92857994	-4,1009557	-36,980423	798,264	446,788	1245,05	-557,62	-949,95	-979,13	0	0	-593,927
71	1,91129066	-4,1610748	-36,602802	790,113	451,834	1241,95	-560,38	-934,32	-991,72	0	0	-578,291
72	1,8937382	-4,2205537	-36,19688	781,351	457,057	1238,41	-562,73	-918,01	-1003,8	0	0	-561,983
73	1,87592452	-4,2793461	-35,762325	771,97	462,464	1234,43	-564,67	-901,04	-1015,3	0	0	-545,015
74	1,85785182	-4,3374049	-35,298834	761,965	468,06	1230,03	-566,19	-883,43	-1026,2	0	0	-527,402
75	1,83952251	-4,3946825	-34,806132	751,33	473,855	1225,18	-567,28	-865,19	-1036,5	0	0	-509,162
76	1,82093925	-4,4511131	-34,283979	740,059	479,855	1219,91	-567,95	-846,34	-1046,2	0	0	-490,315
77	1,80210491	-4,5067022	-33,732167	728,147	486,068	1214,22	-568,19	-826,91	-1055,2	0	0	-470,88
78	1,78302262	-4,5613474	-33,150517	715,592	492,503	1208,1	-568	-806,91	-1063,5	0	0	-450,883
79	1,76369575	-4,6150177	-32,538886	702,389	499,169	1201,56	-567,39	-786,37	-1071,1	0	0	-430,348
80	1,74412792	-4,6676641	-31,897163	688,536	506,075	1194,61	-566,35	-765,33	-1078	0	0	-409,303
81	1,72432299	-4,7192373	-31,225272	674,033	513,23	1187,26	-564,88	-743,8	-1084,2	0	0	-387,777
82	1,7042851	-4,769688	-30,523169	658,877	520,644	1179,52	-563	-721,83	-1089,6	0	0	-365,8
83	1,68401864	-4,8189668	-29,790847	643,069	528,329	1171,4	-560,7	-699,43	-1094,2	0	0	-343,406
84	1,66352825	-4,8670244	-29,028331	626,609	536,296	1162,91	-558	-676,65	-1098,1	0	0	-320,628
85	1,64281885	-4,9138114	-28,235684	609,499	544,556	1154,06	-554,91	-653,53	-1101,2	0	0	-297,502
86	1,62189562	-4,9592788	-27,413001	591,741	553,122	1144,86	-551,42	-630,09	-1103,5	0	0	-274,064
87	1,600764	-5,0033774	-26,560414	573,337	562,007	1135,34	-547,56	-606,38	-1105	0	0	-250,351
88	1,57942971	-5,0460587	-25,67809	554,291	571,225	1125,52	-543,33	-582,43	-1105,8	0	0	-226,404
89	1,55789872	-5,0872742	-24,766231	534,607	580,79	1115,4	-538,75	-558,29	-1105,7	0	0	-202,26
90	1,53617729	-5,1269758	-23,825077	514,291	590,717	1105,01	-533,83	-533,99	-1104,9	0	0	-177,961
91	1,51427192	-5,1651158	-22,854899	493,349	601,023	1094,37	-528,6	-509,57	-1103,4	0	0	-153,545
92	1,49218939	-5,2016472	-21,856006	471,787	611,725	1083,51	-523,06	-485,08	-1101	0	0	-129,053
93	1,46993673	-5,2365231	-20,828743	449,612	622,84	1072,45	-517,23	-460,55	-1098	0	0	-104,526

94	1,44752124	-5,2696977	-19,773489	426,833	634,387	1061,22	-511,15	-436,03	-1094,2	0	0	-80,0023
95	1,42495046	-5,3011255	-18,690657	403,459	646,387	1049,85	-504,81	-411,55	-1089,8	0	0	-55,5214
96	1,4022322	-5,3307617	-17,580696	379,499	658,859	1038,36	-498,26	-387,15	-1084,7	0	0	-31,1212
97	1,37937449	-5,3585625	-16,444089	354,964	671,828	1026,79	-491,51	-362,86	-1079	0	0	-6,83824
98	1,35638563	-5,3844847	-15,281353	329,865	685,315	1015,18	-484,58	-338,73	-1072,7	0	0	17,29235
99	1,33327413	-5,4084862	-14,093039	304,214	699,346	1003,56	-477,5	-314,79	-1065,9	0	0	41,23741
100	1,31004875	-5,4305255	-12,879731	278,024	713,947	991,97	-470,31	-291,06	-1058,5	0	0	64,96598
101	1,28671846	-5,4505623	-11,642045	251,307	729,146	980,452	-463,01	-267,58	-1050,7	0	0	88,44967
102	1,26329246	-5,4685573	-10,380632	224,078	744,972	969,05	-455,64	-244,36	-1042,6	0	0	111,663
103	1,23978015	-5,4844724	-9,0961704	196,351	761,456	957,808	-448,24	-221,44	-1034,1	0	0	134,5837
104	1,21619112	-5,4982703	-7,7893743	168,142	778,632	946,775	-440,82	-198,83	-1025,3	0	0	157,1932
105	1,19253518	-5,5099153	-6,4609861	139,468	796,535	936,002	-433,42	-176,55	-1016,3	0	0	179,4768
106	1,1688223	-5,5193727	-5,1117786	110,344	815,201	925,544	-426,07	-154,6	-1007,1	0	0	201,4243
107	1,14506265	-5,5284043	-3,742554	80,7873	834,669	915,457	-418,8	-132,99	-997,88	0	0	223,0302
108	1,12126653	-5,5315924	-2,3541432	50,8169	854,983	905,8	-411,64	-111,73	-988,65	0	0	244,2941
109	1,09744444	-5,5342921	-0,9474046	20,4508	876,185	896,636	-404,62	-90,804	-979,5	0	0	265,2212
110	1,07360699	-5,5346789	0,47677615	-10,292	898,323	888,032	-397,77	-70,202	-970,51	0	0	285,8227
111	1,04976495	-5,5327251	1,91748712	-41,391	921,448	880,057	-391,13	-49,909	-961,76	0	0	306,1162
112	1,02592922	-5,5284043	3,37379116	-72,827	945,611	872,784	-384,72	-29,899	-953,35	0	0	326,1258
113	1,0021108	-5,521692	4,84472665	-104,58	970,871	866,292	-378,58	-10,142	-945,35	0	0	345,8832
114	0,97832081	-5,5125649	6,32930838	-136,63	997,286	860,661	-372,74	9,40255	-937,86	0	0	365,4276
115	0,95457045	-5,5010017	7,82652861	-168,94	1024,92	855,977	-367,24	28,7813	-930,98	0	0	384,8064
116	0,93087102	-5,4869825	9,33535799	-201,51	1053,85	852,331	-362,09	48,0505	-924,81	0	0	404,0755
117	0,90723388	-5,4704891	10,8547466	-234,31	1084,13	849,817	-357,34	67,2749	-919,43	0	0	423,3
118	0,88367048	-5,4515053	12,3836249	-267,31	1115,85	848,537	-353,02	86,5291	-914,96	0	0	442,5542
119	0,8601923	-5,4300164	13,920905	-300,5	1149,09	848,595	-349,14	105,898	-911,48	0	0	461,9229
120	0,83681085	-5,4060095	15,4654815	-333,84	1183,94	850,104	-345,76	125,476	-909,11	0	0	481,501
121	0,81353771	-5,3794737	17,0162327	-367,31	1220,5	853,181	-342,89	145,37	-907,94	0	0	501,3949
122	0,79038444	-5,3503998	18,572022	-400,9	1258,85	857,951	-340,55	165,697	-908,08	0	0	521,7223
123	0,76736263	-5,3187805	20,1316986	-434,57	1299,11	864,544	-338,79	186,588	-909,62	0	0	542,6131
124	0,74448386	-5,2846104	21,6940989	-468,29	1341,39	873,1	-337,62	208,185	-912,66	0	0	564,21
125	0,72175971	-5,247886	23,2580476	-502,05	1385,82	883,764	-337,08	230,644	-917,31	0	0	586,6691
126	0,69920172	-5,2086058	24,8223593	-535,82	1432,51	896,692	-337,18	254,135	-923,67	0	0	610,1603
127	0,67682142	-5,16677	26,3858391	-569,57	1481,62	912,047	-337,94	278,843	-931,82	0	0	634,8683
128	0,65463028	-5,1223812	27,9472844	-603,27	1533,28	930,002	-339,4	304,968	-941,85	0	0	660,9928
129	0,63263971	-5,0754435	29,5054856	-636,91	1587,65	950,739	-341,56	332,725	-953,87	0	0	688,7497
130	0,61086107	-5,0259633	31,059228	-670,45	1644,9	974,453	-344,45	362,346	-967,94	0	0	718,3712
131	0,58930566	-4,9739488	32,6072925	-703,87	1705,21	1001,35	-348,09	394,082	-984,15	0	0	750,1071
132	0,56798467	-4,9194104	34,1484573	-737,13	1768,77	1031,64	-352,47	428,2	-1002,6	0	0	784,225
133	0,54690922	-4,8623603	35,6814989	-770,23	1835,78	1065,56	-357,63	464,986	-1023,3	0	0	821,0115
134	0,52609031	-4,8028127	37,2051936	-803,12	1906,46	1103,34	-363,57	504,747	-1046,3	0	0	860,7725
135	0,50553886	-4,740784	38,7183184	-835,78	1981,03	1145,25	-370,28	547,809	-1071,7	0	0	903,8342
136	0,48526566	-4,6762924	40,219653	-868,19	2059,74	1191,55	-377,79	594,518	-1099,6	0	0	950,5434
137	0,46528135	-4,6093582	41,7079805	-900,31	2142,84	1242,53	-386,07	645,244	-1129,9	0	0	1001,269
138	0,44559647	-4,5400036	43,1820888	-932,13	2230,62	1298,49	-395,14	700,376	-1162,6	0	0	1056,401
139	0,4262214	-4,4682528	44,640772	-963,62	2323,36	1359,74	-404,97	760,328	-1197,8	0	0	1116,353
140	0,40716638	-4,3941321	46,0828319	-994,75	2421,37	1426,62	-415,56	825,535	-1235,5	0	0	1181,56
141	0,38844149	-4,3176695	47,5070787	-1025,5	2524,98	1499,48	-426,89	896,456	-1275,6	0	0	1252,481
142	0,37005663	-4,2388951	48,9123329	-1055,8	2634,51	1578,68	-438,92	973,574	-1318	0	0	1329,599
143	0,35202157	-4,157841	50,2974261	-1085,7	2750,34	1664,61	-451,63	1057,39	-1362,7	0	0	1413,417
144	0,33434585	-4,0745409	51,6612027	-1115,2	2872,83	1757,66	-464,98	1148,44	-1409,5	0	0	1504,461
145	0,31703887	-3,9890307	53,0025206	-1144,1	3002,37	1858,25	-478,91	1247,25	-1458,4	0	0	1603,277
146	0,30010982	-3,901348	54,320253	-1172,6	3139,36	1966,79	-493,37	1354,41	-1509,1	0	0	1710,431
147	0,28356768	-3,8115322	55,6132891	-1200,5	3284,21	2083,74	-508,28	1470,48	-1561,4	0	0	1826,502
148	0,26742125	-3,7196246	56,8805358	-1227,8	3437,36	2209,53	-523,57	1596,06	-1615,2	0	0	1952,084
149	0,25167913	-3,6256682	58,1209184	-1254,6	3599,21	2344,61	-539,15	1731,75	-1670	0	0	2087,779
150	0,23634967	-3,5297078	59,3333822	-1280,8	3770,21	2489,43	-554,9	1878,16	-1725,6	0	0	2234,189
151	0,22144103	-3,4317898	60,5168933	-1306,3	3950,76	2644,43	-570,71	2035,89	-1781,5	0	0	2391,912
152	0,20696115	-3,3319623	61,67044	-1331,2	4141,28	2810,05	-586,42	2205,51	-1837,4	0	0	2561,532
153	0,19291772	-3,2302752	62,7930337	-1355,5	4342,14	2986,69	-601,89	2387,58	-1892,6	0	0	2743,605
154	0,17931822	-3,1267798	63,8837101	-1379	4553,71	3174,7	-616,93	2582,63	-1946,6	0	0	2938,651
155	0,16616988	-3,0215289	64,9415301	-1401,8	4776,27	3374,43	-631,35	2791,11	-1998,8	0	0	3147,132
156	0,15347969	-2,9145772	65,965581	-1423,9	5010,06	3586,11	-644,92	3013,41	-2048,3	0	0	3369,436
157	0,14125441	-2,8059804	66,9549775	-1445,3	5255,23	3809,93	-657,4	3249,83	-2094,4	0	0	3605,853
158	0,12950052	-2,6957959	67,9088625	-1465,9	5511,83	4045,94	-668,53	3500,53	-2136,1	0	0	3856,551
159	0,11822428	-2,5840823	68,8264082	-1485,7	5779,78	4294,09	-678,01	3765,52	-2172,5	0	0	4121,546
160	0,10743168	-2,4708998	69,7068168	-1504,7	6058,84	4554,14	-685,52	4044,64	-2202,5	0	0	4400,667
161	0,09712845	-2,3563096	70,5493218	-1522,9	6348,57	4825,68	-690,74	4337,5	-2225	0	0	4693,524
162	0,08732007	-2,2403743	71,3531881	-1540,2	6648,33	5108,09	-693,31	4643,44	-2238,7	0	0	4999,467
163	0,07801174	-2,1231576	72,1177138	-1556,7	6957,21	5400,47	-692,87	4961,52	-2242,4	0	0	5317,549
164	0,06920841	-2,0047242	72,84223	-1572,4	7274,03	5701,65	-689,04	5290,46	-2234,9	0	0	5646,481
165	0,06091476	-1,8851402	73,5261023	-1587,1	7597,27	6010,13	-681,45	5628,58	-2214,8	0	0	5984,601
166	0,05313516	-1,7644724	74,1687308	-1601	7925,08	6324,07	-669,72	5973,81	-2180,8	0	0	6329,833
167	0,04587377	-1,6427887	74,7695514	-1614	8255,23	6641,25	-653,51	6323,64	-2131,8	0	0	6679,667

168	0,03913442	-1,5201577	75,3280361	-1626	8585,11	6959,07	-632,52	6675,12	-2066,8	0	0	7031,14
169	0,03292069	-1,3966492	75,8436936	-1637,2	8911,71	7274,54	-606,46	7024,81	-1984,6	0	0	7380,84
170	0,02723588	-1,2723334	76,3160699	-1647,4	9231,69	7584,32	-575,13	7368,89	-1884,7	0	0	7724,918
171	0,02208299	-1,1472814	76,7447487	-1656,6	9541,35	7884,73	-538,41	7703,11	-1766,6	0	0	8059,136
172	0,01746476	-1,021565	77,1293519	-1664,9	9836,72	8171,8	-496,27	8022,91	-1630,2	0	0	8378,933
173	0,01338362	-0,8952563	77,4695402	-1672,3	10113,6	8441,38	-448,8	8323,49	-1475,7	0	0	8679,518
174	0,00984176	-0,7684284	77,7650131	-1678,6	10367,9	8689,22	-396,19	8599,97	-1303,9	0	0	8955,992
175	0,00684103	-0,6411543	78,0155097	-1684,1	10595,3	8911,27	-338,8	8847,62	-1115,8	0	0	9203,648
176	0,00438303	-0,5135078	78,2208085	-1688,5	10791,9	9103,44	-277,09	9061,77	-913,1	0	0	9417,797
177	0,00246906	-0,385563	78,3807281	-1691,9	10953,9	9262	-211,65	9238,1	-697,8	0	0	9594,129
178	0,00110013	-0,257394	78,4951269	-1694,4	11547	9852,58	-150,38	9841,24	-495,95	0	0	10197,27
179	0,00027697	-0,1290754	78,5639039	-1695,9	12230,8	10534,9	-80,828	10531,8	-266,62	0	0	10887,84
180	1,4701E-08	-0,0006817	78,5869981	-1696,4	12945,8	11249,4	-0,9068	11249,4	-2,9914	0	0	11605,39
181	0,00026941	0,12771241	78,5643891	-1695,9	13654,9	11959	89,8261	11955,6	296,304	0	0	12311,66
182	0,00108502	0,25603223	78,4960969	-1694,4	14331,1	12636,7	190,839	12622,5	629,386	0	0	12978,49
183	0,0024464	0,38420319	78,382182	-1692	14954	13262	300,927	13228,3	992,124	0	0	13584,33
184	0,00435284	0,51215081	78,2227451	-1688,5	15508,1	13819,5	418,409	13756,9	1378,81	0	0	14112,96
185	0,00680333	0,63980083	78,0179272	-1684,1	15982,1	14298	541,299	14196,7	1782,72	0	0	14552,76
186	0,00979657	0,76707922	77,7679094	-1678,7	16368,8	14690,1	667,447	14540,3	2196,58	0	0	14896,29
187	0,01333099	0,89391233	77,4729127	-1672,3	16664,7	14992,4	794,685	14784,3	2613,08	0	0	15140,3
188	0,0174047	1,02022686	77,1331977	-1665	16868,7	15203,7	920,882	14928,2	3025,04	0	0	15284,2
189	0,02201555	1,14594998	76,7490644	-1656,7	16982,3	15325,6	1044,06	14974,3	3425,82	0	0	15330,3
190	0,0271611	1,27100939	76,3208517	-1647,5	17009,2	15361,8	1162,44	14927,2	3809,48	0	0	15283,27
191	0,03283862	1,39533338	75,8489373	-1637,3	16954,7	15317,5	1274,52	14793,6	4170,99	0	0	15149,67
192	0,03904511	1,51885086	75,333737	-1626,2	16825,6	15199,4	1379,06	14581,4	4506,26	0	0	14937,42
193	0,04577728	1,64149147	74,7757045	-1614,1	16629,2	15015,1	1475,13	14299,3	4812,23	0	0	14655,35
194	0,05303156	1,76318564	74,1753306	-1601,2	16373,6	14772,5	1562,06	13956,8	5086,76	0	0	14312,78
195	0,0608041	1,88386459	73,5331431	-1587,3	16067,1	14479,8	1639,46	13563,1	5328,62	0	0	13919,13
196	0,06909079	2,00346048	72,8497057	-1572,5	15717,6	14145,1	1707,18	13127,6	5537,41	0	0	13483,64
197	0,07788722	2,12190637	72,1256178	-1556,9	15333	13776,1	1765,27	12659,1	5713,4	0	0	13015,13
198	0,08718872	2,23913637	71,3615134	-1540,4	14920,5	13380,1	1813,95	12165,8	5857,46	0	0	12521,82
199	0,09699037	2,35508562	70,5580611	-1523,1	14486,9	12963,8	1853,58	11655,2	5970,92	0	0	12011,22
200	0,10728696	2,46969042	69,7159627	-1504,9	14038,2	12533,3	1884,64	11134,1	6055,45	0	0	11490,08
201	0,11807301	2,5828882	68,8359525	-1485,9	13579,9	12094	1907,68	10608,3	6113	0	0	10964,33
202	0,12934281	2,69461765	67,918797	-1466,1	13116,8	11650,7	1923,29	10083,1	6145,69	0	0	10439,1
203	0,14109035	2,80481872	66,9652935	-1445,5	12652,9	11207,4	1932,1	9562,75	6155,7	0	0	9918,771
204	0,1533094	2,91343268	65,9762696	-1424,2	12191,8	10767,6	1934,77	9050,96	6145,28	0	0	9406,985
205	0,16599347	3,02040221	64,952582	-1402,1	11736,3	10334,3	1931,93	8550,77	6116,68	0	0	8906,79
206	0,1791358	3,12567137	63,8951158	-1379,2	11289,1	9909,84	1924,23	8064,59	6072,08	0	0	8420,612
207	0,19272941	3,22918572	62,8047834	-1355,7	10851,9	9496,22	1912,27	7594,24	6013,53	0	0	7950,269
208	0,20676708	3,33089232	61,6825236	-1331,5	10426,4	9094,88	1896,6	7141,09	5942,96	0	0	7497,113
209	0,22124132	3,43073979	60,5293004	-1306,6	10013,5	8706,93	1877,76	6706,07	5862,19	0	0	7062,095
210	0,23614445	3,52867833	59,3461022	-1281,1	9614,24	8333,19	1856,24	6289,79	5772,89	0	0	6645,815
211	0,25146854	3,62465981	58,1339404	-1254,9	9229,09	7974,2	1832,51	5892,56	5676,6	0	0	6248,584
212	0,26720544	3,71863772	56,8938487	-1228,1	8858,41	7630,3	1806,96	5514,44	5574,72	0	0	5870,465
213	0,28334678	3,8105673	55,6268817	-1200,8	8502,37	7301,6	1779,99	5155,3	5468,52	0	0	5511,321
214	0,29988398	3,9004055	54,3341137	-1172,9	8160,97	6988,11	1751,93	4814,82	5359,14	0	0	5170,85
215	0,31680824	3,98811107	53,0166377	-1144,4	7834,08	6689,66	1723,09	4492,59	5247,59	0	0	4848,617
216	0,33411058	4,07364453	51,6755643	-1115,5	7521,48	6406,01	1693,74	4188,06	5134,77	0	0	4544,087
217	0,35178182	4,15696825	50,3120202	-1086	7222,87	6136,83	1664,13	3900,62	5021,47	0	0	4256,645
218	0,36981256	4,23804643	48,9271472	-1056,1	6937,87	5881,73	1634,46	3629,59	4908,38	0	0	3985,619
219	0,38819325	4,31684518	47,522101	-1025,8	6666,08	5640,26	1604,93	3374,28	4796,1	0	0	3730,3
220	0,40691414	4,39333249	46,0980496	-995,08	6407,04	5411,96	1575,7	3133,93	4685,15	0	0	3489,951
221	0,42596533	4,46747826	44,6561727	-963,95	6160,28	5196,32	1546,9	2907,8	4575,96	0	0	3263,823
222	0,44533673	4,53925433	43,1976597	-932,47	5925,31	4992,84	1518,67	2695,14	4468,89	0	0	3051,165
223	0,46501812	4,60863451	41,7237089	-900,65	5701,64	4800,98	1491,09	2495,2	4364,26	0	0	2851,23
224	0,48499912	4,67559455	40,235526	-868,53	5488,77	4620,24	1464,25	2307,26	4262,3	0	0	2663,285
225	0,50526918	4,74011219	38,7343231	-836,12	5286,23	4450,1	1438,23	2130,59	4163,23	0	0	2486,611
226	0,52581767	4,80216715	37,2213171	-803,46	5093,51	4290,05	1413,07	1964,49	4067,19	0	0	2320,513
227	0,54663379	4,86174113	35,6977282	-770,58	4910,16	4139,58	1388,83	1808,29	3974,3	0	0	2164,317
228	0,56770664	4,91881785	34,1647794	-737,49	4735,71	3998,22	1365,54	1661,35	3884,64	0	0	2017,377
229	0,58902521	4,97338301	32,6236945	-704,22	4569,72	3865,5	1343,23	1523,05	3798,24	0	0	1879,073
230	0,61057839	5,02542432	31,0756968	-670,8	4411,76	3740,95	1321,9	1392,79	3715,14	0	0	1748,815
231	0,63235497	5,07493149	29,5220082	-637,27	4261,42	3624,16	1301,57	1270,01	3635,33	0	0	1626,04
232	0,65434367	5,1218962	27,963848	-603,63	4118,31	3514,68	1282,24	1154,19	3558,79	0	0	1510,217
233	0,67653314	5,16631214	26,4024308	-569,93	3982,06	3412,13	1263,9	1044,82	3485,46	0	0	1400,84
234	0,69891195	5,20817499	24,8389663	-536,18	3852,3	3316,12	1246,55	941,411	3415,3	0	0	1297,436
235	0,72146863	5,24748238	23,2746571	-502,41	3728,69	3226,28	1230,18	843,532	3348,23	0	0	1199,557
236	0,74419166	5,28423391	21,7106983	-468,65	3610,91	3142,26	1214,75	750,757	3284,17	0	0	1106,782
237	0,76706957	5,31843112	20,1482754	-434,92	3498,65	3063,73	1200,26	662,695	3223,02	0	0	1018,72
238	0,79009095	5,35007749	18,5885638	-401,26	3391,62	2990,36	1186,67	578,976	3164,69	0	0	935,001
239	0,81324328	5,37917838	17,0327271	-367,67	3289,54	2921,87	1173,97	499,258	3109,07	0	0	855,283
240	0,83651605	5,40574109	15,4819163	-334,19	3192,16	2857,96	1162,12	423,221	3056,04	0	0	779,2464
241	0,85989731	5,42977475	13,9372684	-300,85	3099,22	2798,37	1151,08	350,569	3005,49	0	0	706,5946

242	0,88337549	5,45129034	12,399905	-267,67	3010,49	2742,83	1140,83	281,027	2957,3	0	0	637,0524
243	0,90693907	5,47030069	10,8709317	-234,66	2925,75	2691,09	1131,33	214,341	2911,35	0	0	570,3657
244	0,93057656	5,48682038	9,35143672	-201,86	2844,8	2642,94	1122,55	150,275	2867,52	0	0	506,2998
245	0,95427652	5,50086578	7,84248967	-169,29	2767,43	2598,14	1114,44	88,6138	2825,68	0	0	444,6389
246	0,9780276	5,51245499	6,34514074	-136,97	2693,46	2556,5	1106,97	29,1598	2785,72	0	0	385,1849
247	1,00181848	5,5216078	4,86041948	-104,92	2622,72	2517,8	1100,11	-28,268	2747,5	0	0	327,7566
248	1,02563796	5,52834567	3,38933389	-73,163	2555,04	2481,87	1093,81	-83,836	2710,92	0	0	272,1887
249	1,04947492	5,53269169	1,9328694	-41,723	2490,26	2448,53	1088,03	-137,69	2675,85	0	0	218,3309
250	1,07331835	5,53467054	0,4919879	-10,62	2428,24	2417,62	1082,73	-189,98	2642,17	0	0	166,0472
251	1,09715736	5,53430845	-0,9323732	20,1263	2368,83	2388,96	1077,88	-240,81	2609,78	0	0	115,2148
252	1,12098118	5,53163316	-2,3393016	50,4965	2311,92	2362,42	1073,44	-290,3	2578,57	0	0	65,72349
253	1,14477917	5,52667388	-3,7279117	80,4712	2257,37	2337,84	1069,36	-338,55	2548,42	0	0	17,47488
254	1,16854086	5,51946124	-5,0973444	110,032	2205,07	2315,1	1065,61	-385,64	2519,23	0	0	-29,6184
255	1,19225592	5,51002728	-6,4467686	139,161	2154,91	2294,07	1062,16	-431,66	2490,9	0	0	-75,6336
256	1,21591418	5,49840533	-7,775382	167,84	2106,78	2274,62	1058,95	-476,66	2463,34	0	0	-120,638
257	1,23950568	5,48463004	-9,0824113	196,054	2060,59	2256,64	1055,96	-520,72	2436,46	0	0	-164,691
258	1,2630206	5,46873728	-10,367113	223,786	2016,24	2240,02	1053,15	-563,87	2410,16	0	0	-207,842
259	1,28644933	5,45076413	-11,628776	251,02	1973,65	2224,67	1050,49	-606,16	2384,37	0	0	-250,134
260	1,30978249	5,43074879	-12,866717	277,743	1932,7	2210,44	1047,92	-647,62	2358,98	0	0	-291,596
261	1,33301086	5,40873055	-14,080287	303,939	1893,36	2197,3	1045,42	-688,29	2333,94	0	0	-332,265
262	1,35612546	5,38474974	-15,26887	329,596	1855,54	2185,14	1042,98	-728,19	2309,19	0	0	-372,164
263	1,37911755	5,35884768	-16,43188	354,701	1819,18	2173,89	1040,54	-767,34	2284,67	0	0	-411,311
264	1,40197859	5,3310666	-17,568767	379,242	1784,21	2163,46	1038,09	-805,75	2260,3	0	0	-449,72
265	1,42470029	5,30144961	-18,679013	403,208	1750,57	2153,78	1035,59	-843,43	2236,03	0	0	-487,4
266	1,4472746	5,27004065	-19,762136	426,588	1718,19	2144,78	1033,02	-880,38	2211,82	0	0	-524,356
267	1,46969371	5,23688439	-20,817685	449,373	1687,02	2136,4	1030,34	-916,61	2187,6	0	0	-560,589
268	1,49195008	5,20202624	-21,845248	471,554	1657,01	2128,57	1027,53	-952,12	2163,35	0	0	-596,097
269	1,51403641	5,16551225	-22,844443	493,123	1628,11	2121,23	1024,57	-986,9	2139,02	0	0	-630,878
270	1,53594565	5,12738904	-23,814928	514,072	1600,26	2114,33	1021,44	-1020,9	2114,57	0	0	-664,925
271	1,55767102	5,08770379	-24,756392	534,395	1573,43	2107,82	1018,11	-1054,3	2089,98	0	0	-698,229
272	1,57920601	5,04650414	-25,668563	554,085	1547,56	2101,65	1014,56	-1086,8	2065,21	0	0	-730,781
273	1,60054437	5,00383815	-26,551201	573,138	1522,63	2095,76	1010,77	-1118,6	2040,25	0	0	-762,571
274	1,6216801	4,95975426	-27,404105	591,549	1498,58	2090,13	1006,74	-1149,6	2015,08	0	0	-793,587
275	1,6426075	4,91430118	-28,227106	609,314	1475,39	2084,7	1002,43	-1179,8	1989,68	0	0	-823,817
276	1,66332111	4,86732789	-29,020073	626,431	1453,01	2079,44	997,84	-1209,3	1964,03	0	0	-853,248
277	1,68381574	4,81948355	-29,782909	642,898	1431,42	2074,32	992,955	-1237,9	1938,14	0	0	-881,869
278	1,70408649	4,77021744	-30,515552	658,713	1410,58	2069,3	987,764	-1265,7	1911,99	0	0	-909,666
279	1,72412868	4,71977892	-31,217976	673,875	1390,47	2064,35	982,256	-1292,7	1885,58	0	0	-936,627
280	1,74393793	4,66821737	-31,890188	688,386	1371,05	2059,44	976,424	-1318,8	1858,91	0	0	-962,742
281	1,7635101	4,61558212	-32,53223	702,245	1352,3	2054,54	970,259	-1344	1831,98	0	0	-987,998
282	1,78284132	4,56192241	-33,14418	715,455	1334,19	2049,64	963,758	-1368,4	1804,8	0	0	-1012,39
283	1,80192797	4,50728733	-33,726148	728,017	1316,69	2044,71	956,916	-1391,9	1777,37	0	0	-1035,9
284	1,82076666	4,45172575	-34,278277	739,936	1299,79	2039,72	949,729	-1414,6	1749,71	0	0	-1058,53
285	1,83935427	4,39528628	-34,800743	751,214	1283,45	2034,67	942,197	-1436,3	1721,82	0	0	-1080,27
286	1,85768792	4,33801722	-35,293756	761,856	1267,67	2029,53	934,319	-1457,1	1693,72	0	0	-1101,11
287	1,87576495	4,27996651	-35,757557	771,867	1252,42	2024,28	926,095	-1477,1	1665,42	0	0	-1121,05
288	1,89358294	4,22118167	-36,192417	781,254	1237,67	2018,92	917,529	-1496,1	1636,94	0	0	-1140,08
289	1,91113969	4,16170972	-36,598641	790,023	1223,41	2013,44	908,624	-1514,2	1608,29	0	0	-1158,22
290	1,92843323	4,10159721	-36,976561	798,181	1209,63	2007,81	899,383	-1531,5	1579,49	0	0	-1175,45
291	1,94546178	4,04089007	-37,32654	805,736	1196,3	2002,04	889,813	-1547,8	1550,56	0	0	-1191,78
292	1,9622238	3,97963365	-37,64897	812,696	1183,38	1996,08	879,905	-1563,2	1521,49	0	0	-1207,18
293	1,97871792	3,91787262	-37,944271	819,07	1170,79	1989,86	869,64	-1577,6	1492,27	0	0	-1221,62
294	1,99494298	3,85565095	-38,212889	824,869	1158,47	1983,33	859,003	-1591,1	1462,87	0	0	-1235,05
295	2,010898	3,79301186	-38,455298	830,101	1146,33	1976,43	847,981	-1603,5	1433,27	0	0	-1247,43
296	2,02658217	3,72999775	-38,671999	834,779	1134,31	1969,09	836,565	-1614,7	1403,48	0	0	-1258,72
297	2,04199488	3,66665022	-38,863514	838,913	1122,36	1961,27	824,746	-1624,9	1373,48	0	0	-1268,89
298	2,05713566	3,60300997	-39,030392	842,515	1110,41	1952,93	812,521	-1633,9	1343,28	0	0	-1277,9
299	2,0720042	3,53911679	-39,173205	845,598	1098,41	1944,01	799,888	-1641,7	1312,88	0	0	-1285,72
300	2,08660036	3,47500952	-39,292546	848,174	1086,3	1934,48	786,85	-1648,4	1282,29	0	0	-1292,33
301	2,10092411	3,41072601	-39,38903	850,257	1074,04	1924,3	773,408	-1653,7	1251,52	0	0	-1297,69
302	2,11497558	3,34630309	-39,463292	851,86	1061,58	1913,44	759,57	-1657,8	1220,59	0	0	-1301,79
303	2,12875504	3,28177655	-39,515986	852,997	1048,87	1901,87	745,345	-1660,6	1189,51	0	0	-1304,61
304	2,14226284	3,21718107	-39,547785	853,684	1035,88	1889,57	730,742	-1662,2	1158,31	0	0	-1306,13
305	2,15549948	3,15255024	-39,559377	853,934	1022,57	1876,5	715,775	-1662,4	1127,01	0	0	-1306,34
306	2,16846556	3,08791149	-39,551469	853,763	1008,9	1862,66	700,458	-1661,3	1095,62	0	0	-1305,23
307	2,18116177	3,02331611	-39,524781	853,187	994,845	1848,03	684,81	-1658,8	1064,19	0	0	-1302,79
308	2,1935889	2,95876417	-39,480048	852,222	980,372	1832,59	668,848	-1655,1	1032,74	0	0	-1299,03
309	2,20574784	2,89430457	-39,418018	850,883	965,459	1816,34	652,592	-1650	1001,29	0	0	-1293,94
310	2,21763952	2,82995993	-39,339449	849,187	950,083	1799,27	636,066	-1643,6	969,88	0	0	-1287,53
311	2,22926499	2,76575665	-39,24511	847,15	934,225	1781,38	619,292	-1635,8	938,542	0	0	-1279,81
312	2,24062534	2,70171988	-39,135782	844,79	917,868	1762,66	602,295	-1626,8	907,309	0	0	-1270,79
313	2,25172173	2,63787345	-39,012252	842,124	901,001	1743,12	585,101	-1616,5	876,213	0	0	-1260,48
314	2,26255538	2,57423992	-38,875313	839,168	883,612	1722,78	567,737	-1604,9	845,288	0	0	-1248,9
315	2,27312754	2,51084055	-38,725766	835,94	865,694	1701,63	550,231	-1592,1	814,57	0	0	-1236,08

316	2,28343953	2,44769529	-38,564417	832,457	847,244	1679,7	532,612	-1578,1	784,092	0	0	-1222,03
317	2,29349268	2,38482275	-38,392074	828,736	828,261	1657	514,909	-1562,8	753,889	0	0	-1206,8
318	2,30328838	2,32224024	-38,209548	824,796	808,746	1633,54	497,152	-1546,4	723,994	0	0	-1190,41
319	2,31282803	2,25996373	-38,017653	820,654	788,706	1609,36	479,372	-1528,9	694,441	0	0	-1172,89
320	2,32211306	2,19800786	-37,817199	816,327	768,148	1584,47	461,598	-1510,3	665,265	0	0	-1154,29
321	2,33114492	2,13638597	-37,608999	811,833	747,083	1558,92	443,863	-1490,7	636,496	0	0	-1134,65
322	2,33992507	2,07511004	-37,393862	807,189	712,484	1519,67	422,569	-1457,5	602,992	0	0	-1101,5
323	2,34845497	2,01419075	-37,172595	802,413	673,854	1476,27	400,584	-1419,9	568,886	0	0	-1063,9
324	2,35673611	1,95363746	-36,945997	797,521	631,57	1429,09	378,108	-1378,3	534,461	0	0	-1022,24
325	2,36476996	1,89345822	-36,714865	792,532	586,188	1378,72	355,374	-1333,1	500,043	0	0	-977,061
326	2,37255799	1,83365981	-36,479988	787,462	539,177	1326,64	332,833	-1285,8	466,251	0	0	-929,805
327	2,38010166	1,77424771	-36,242146	782,328	491,262	1273,59	310,711	-1237,2	433,386	0	0	-881,209
328	2,38740245	1,71522611	-36,002111	777,146	443,263	1220,41	289,236	-1188,1	401,743	0	0	-832,108
329	2,39446178	1,65659799	-35,760646	771,934	396,168	1168,1	268,653	-1139,5	371,635	0	0	-783,503
330	2,40128109	1,59836507	-35,518501	766,707	351,345	1118,05	249,26	-1092,8	343,448	0	0	-736,776
331	2,40786179	1,54052785	-35,276413	761,481	352,463	1113,94	240,447	-1090,8	330,038	0	0	-734,736
332	2,41420525	1,48308565	-35,035109	756,273	353,345	1109,62	231,605	-1088,4	316,726	0	0	-732,358
333	2,42031284	1,42603659	-34,795298	751,096	354,109	1105,2	222,767	-1085,8	303,552	0	0	-729,774
334	2,4261859	1,36937768	-34,557677	745,967	354,801	1100,77	213,951	-1083,1	290,533	0	0	-727,052
335	2,43182573	1,31310477	-34,322925	740,899	355,444	1096,34	205,166	-1080,3	277,678	0	0	-724,233
336	2,43723359	1,25721264	-34,091704	735,908	356,049	1091,96	196,418	-1077,4	264,988	0	0	-721,348
337	2,44241072	1,20169499	-33,864657	731,007	356,621	1087,63	187,713	-1074,4	252,466	0	0	-718,42
338	2,44735832	1,14654447	-33,642411	726,21	357,163	1083,37	179,053	-1071,5	240,109	0	0	-715,47
339	2,45207756	1,09175276	-33,425569	721,529	357,677	1079,21	170,441	-1068,5	227,918	0	0	-712,52
340	2,45656956	1,03731055	-33,214716	716,977	358,164	1075,14	161,88	-1065,6	215,888	0	0	-709,586
341	2,46083538	0,98320757	-33,010415	712,567	358,627	1071,19	153,371	-1062,7	204,016	0	0	-706,687
342	2,46487608	0,92943269	-32,813207	708,31	359,067	1067,38	144,915	-1059,9	192,3	0	0	-703,84
343	2,46869263	0,87597388	-32,62361	704,218	359,485	1063,7	136,513	-1057,1	180,733	0	0	-701,063
344	2,47228599	0,82281831	-32,442116	700,3	359,884	1060,18	128,164	-1054,4	169,311	0	0	-698,37
345	2,47565705	0,76995235	-32,269195	696,567	360,265	1056,83	119,868	-1051,8	158,028	0	0	-695,778
346	2,47880666	0,71736163	-32,105291	693,029	360,63	1053,66	111,624	-1049,3	146,879	0	0	-693,3
347	2,48173562	0,66503105	-31,950823	689,695	360,98	1050,68	103,431	-1047	135,855	0	0	-690,951
348	2,48444467	0,61294489	-31,806184	686,573	361,318	1047,89	95,2856	-1044,8	124,949	0	0	-688,744
349	2,48693451	0,56108679	-31,671737	683,67	361,644	1045,31	87,1863	-1042,7	114,155	0	0	-686,689
350	2,48920579	0,5094398	-31,547822	680,996	361,96	1042,96	79,1303	-1040,8	103,463	0	0	-684,798
351	2,49125909	0,45798646	-31,434749	678,555	362,267	1040,82	71,1145	-1039,1	92,8654	0	0	-683,081
352	2,49309495	0,40670883	-31,332799	676,354	362,565	1038,92	63,1353	-1037,6	82,3529	0	0	-681,547
353	2,49471385	0,35558852	-31,242227	674,399	362,856	1037,25	55,189	-1036,2	71,9162	0	0	-680,204
354	2,49611621	0,30460674	-31,163256	672,694	363,14	1035,83	47,2716	-1035,1	61,546	0	0	-679,059
355	2,49730241	0,25374438	-31,096082	671,244	363,417	1034,66	39,3788	-1034,1	51,2325	0	0	-678,117
356	2,49827277	0,20298204	-31,040871	670,052	363,689	1033,74	31,5063	-1033,4	40,9657	0	0	-677,385
357	2,49902753	0,15230003	-30,997758	669,122	363,956	1033,08	23,6494	-1032,9	30,7356	0	0	-676,866
358	2,4995669	0,10167851	-30,96685	668,455	364,217	1032,67	15,8035	-1032,6	20,5319	0	0	-676,564
359	2,49989103	0,05109747	-30,948222	668,052	364,474	1032,53	7,96357	-1032,5	10,3442	0	0	-676,481
360	2,5	0,0005368	-30,94192	667,916	364,726	1032,64	0,12486	-1032,6	0,16217	0	0	-676,617

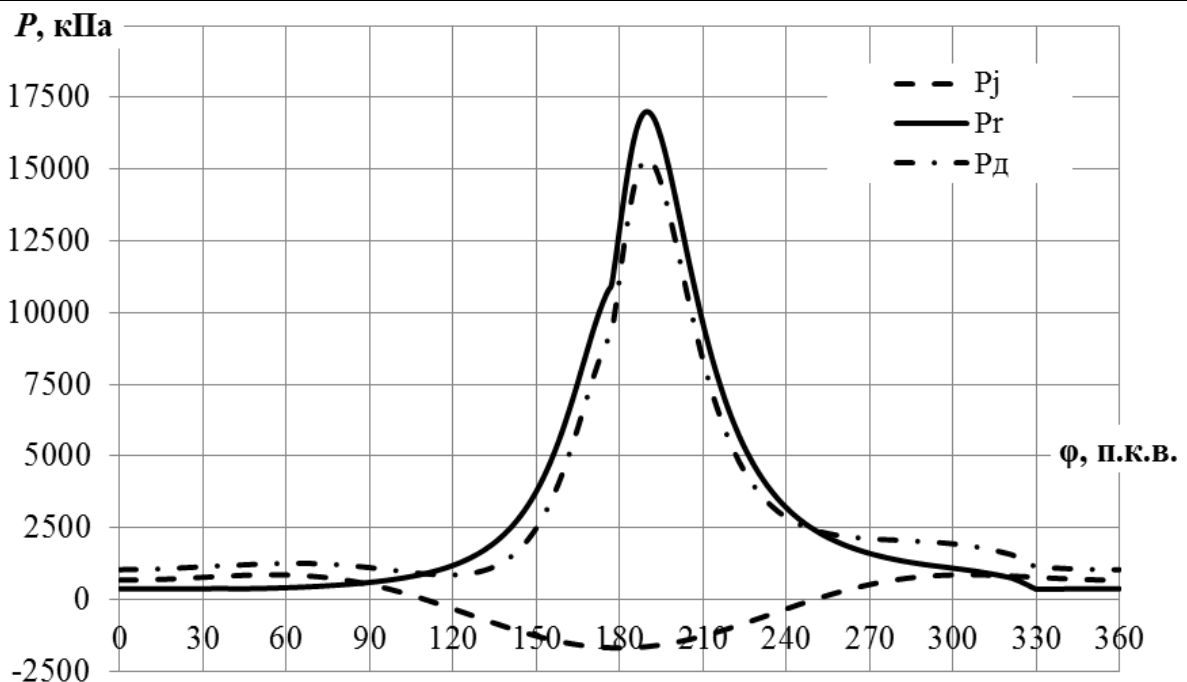


Рисунок 2.6 – Сили P_r , P_j , P_{dv} , що діють у судновому МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.22.02.ПЗ

Аркуш

31

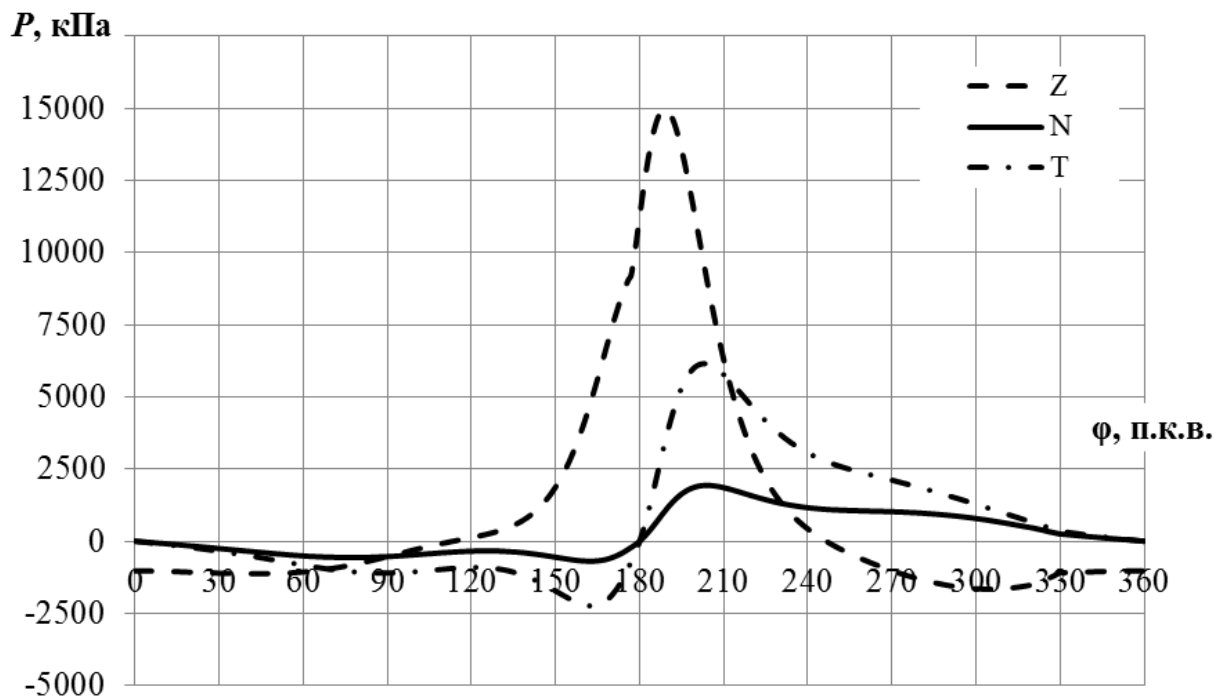


Рисунок 2.7 – Сили N , Z та T , що діють у судновому
МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C

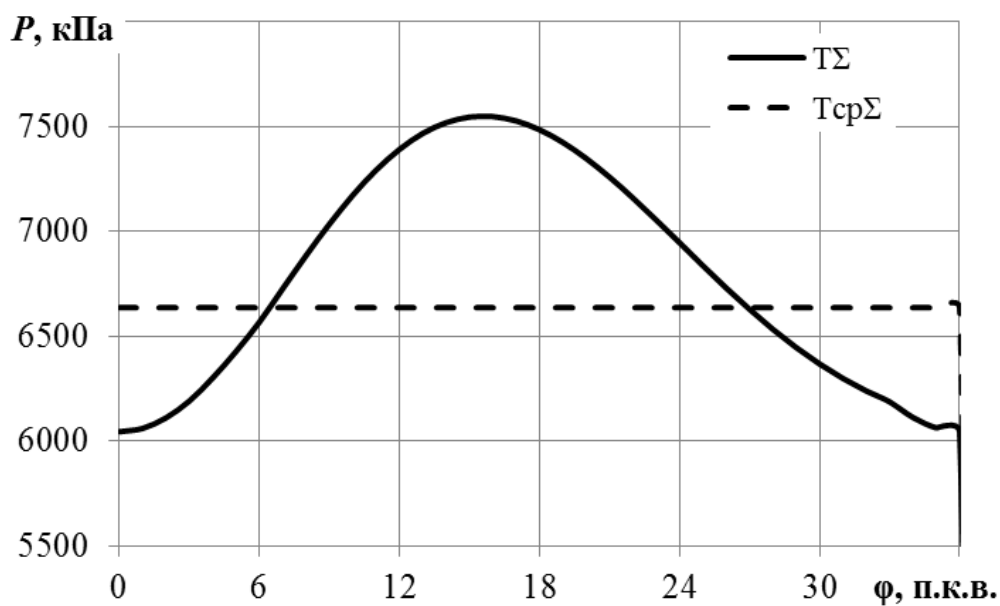


Рисунок 2.8 – Сили $T_{сум}$, $T_{сум}^{сер}$, що діють у судновому
МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C

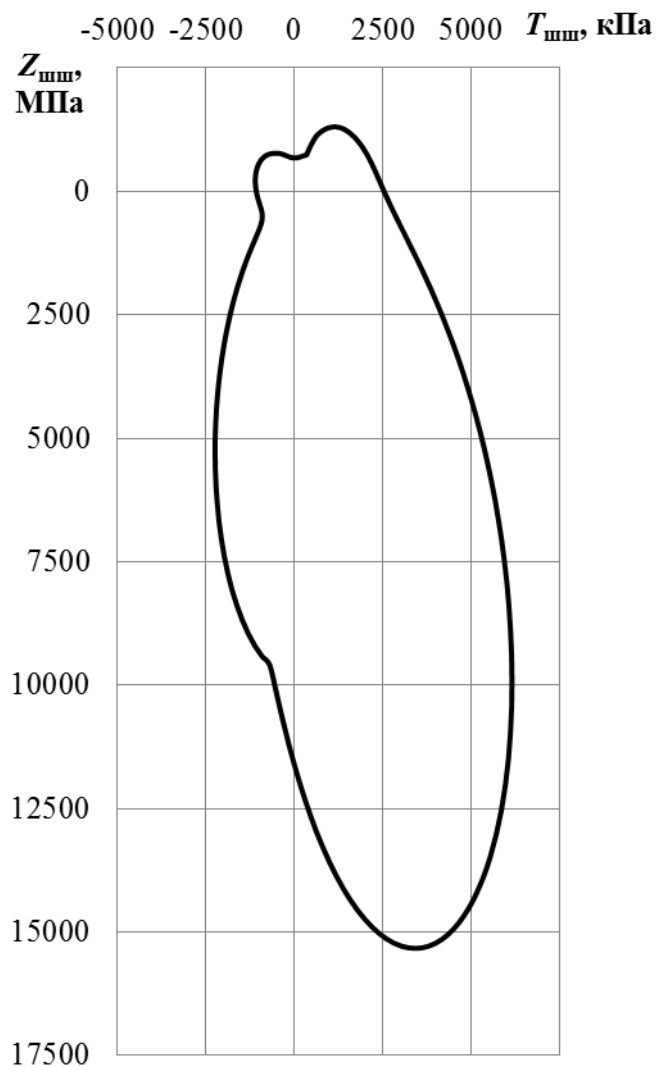


Рисунок 2.9 – Полярна діаграма навантажень на мотилеву шийку суднового двигуна МОД Wärtsilä 10RT-flex-96C

2.4. Висновок до розділу

У розділі представлена загальна характеристика застосованої у кваліфікаційній роботі математичної моделі робочого циклу, яка базується на вирішенні системи диференціальних рівнянь на базі квазістаціонарного (феноменологічного) підходу і відноситься до третього покоління термодинамічних математичних моделей. Виконано розрахунок номінального режиму роботи головного дизельного двигуна 10RT-flex-96C фірми Wärtsilä. За результатами чого було визначено, що отримані результати коректне співпадають з вихідними даними двигуна-прототипу.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ НА ЕФЕКТИВНІ ПОКАЗНИКИ СУДНОВОГО ДВИГУНА WÄRTSILÄ 10RT-FLEX-96C (10ДКРН 96/250)

3.1. Основні параметри паливних систем дизелів, що впливають на процес паливоподачі

Основними параметрами процесу впорскування, які можна розглянути за суміщеними діаграмами (рис. 3.1), є тиск насоса високого тиску $p_{\text{пввт}}$, тиск паливної форсунки $p_{\text{ф}}$, підйом голки $h_{\text{г}}$ та тривалість процесу паливоподачі $\varphi_{\text{вп}}$.

Момент початку корисного ходу плунжера паливного насоса високого тиску $h_{\text{г}}$ на графіку рис. 3.1 позначено точкою 1. Відповідно, початок дійсної подачі палива насосом високого тиску – точка 2 настане тоді, коли тиск палива у камері насоса високого тиску зрівняється із залишковим тиском $p_{\text{ост}}$ зростання в нагнітальному паливному трубопроводі високого тиску. Коли тиск у насосі високого тиску зросте до тиску затягування голки розпилювача p_0 – точка 3, остання піднімається вгору зі свого сідла; цей момент підйому визначає дійсний початок процесу впорскування палива форсункою у камеру згоряння дизеля.

I фаза процесу паливоподачі – триває від початку подачі палива насосом високого тиску (точка 1) до початку дійсного впорскування палива (точка 3) називається періодом затримки процесу впорскування φ_{I} . Цей період паливоподачі складає за умов застосування нагнітальних трубопроводів високого тиску нормальної довжини – $\varphi_{\text{I}} \approx 2 \dots 15^\circ$ п. к. в. (і значно більше при досить довгих трубопроводах). Основними причинами затримки процесу впорскування є – стисливість самого палива, довжина та деформація нагнітального паливного трубопроводу, а також приводу насоса високого тиску, величина залишкового тиску $p_{\text{ост}}$ та ін.

Випередженням впорскування називають кут $\varphi_{\text{вип}}$ п. к. в. від моменту початку впорскування до ВМТ. На практиці розрізняють два кути випередження вприскування, а саме – **геометричний** $\varphi_{\text{вип}}^{\text{Г}}$ по паливному насосу (точки 1–4) і дійсний $\varphi_{\text{вип}}^{\text{Ф}}$ по паливній форсунці (точки 3–4), який обумовлюється моментом початку підйому

					<i>KPM.142.6221м.25.22.03.ПЗ</i>	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

голки розпилювача форсунки (точка 3). Очевидно, що чим є більша фаза затримки впорскування φ_i , тим менше $\varphi_{\text{вип}}^{\phi}$. При зменшенні $\varphi_{\text{вип}}^{\phi}$ до величини, що дорівнює куту затримки займання φ_i знижується p_z і $\Delta p/\Delta \varphi$, дещо збільшується g_e , знижується τ_i (на 20...30%) та ін.

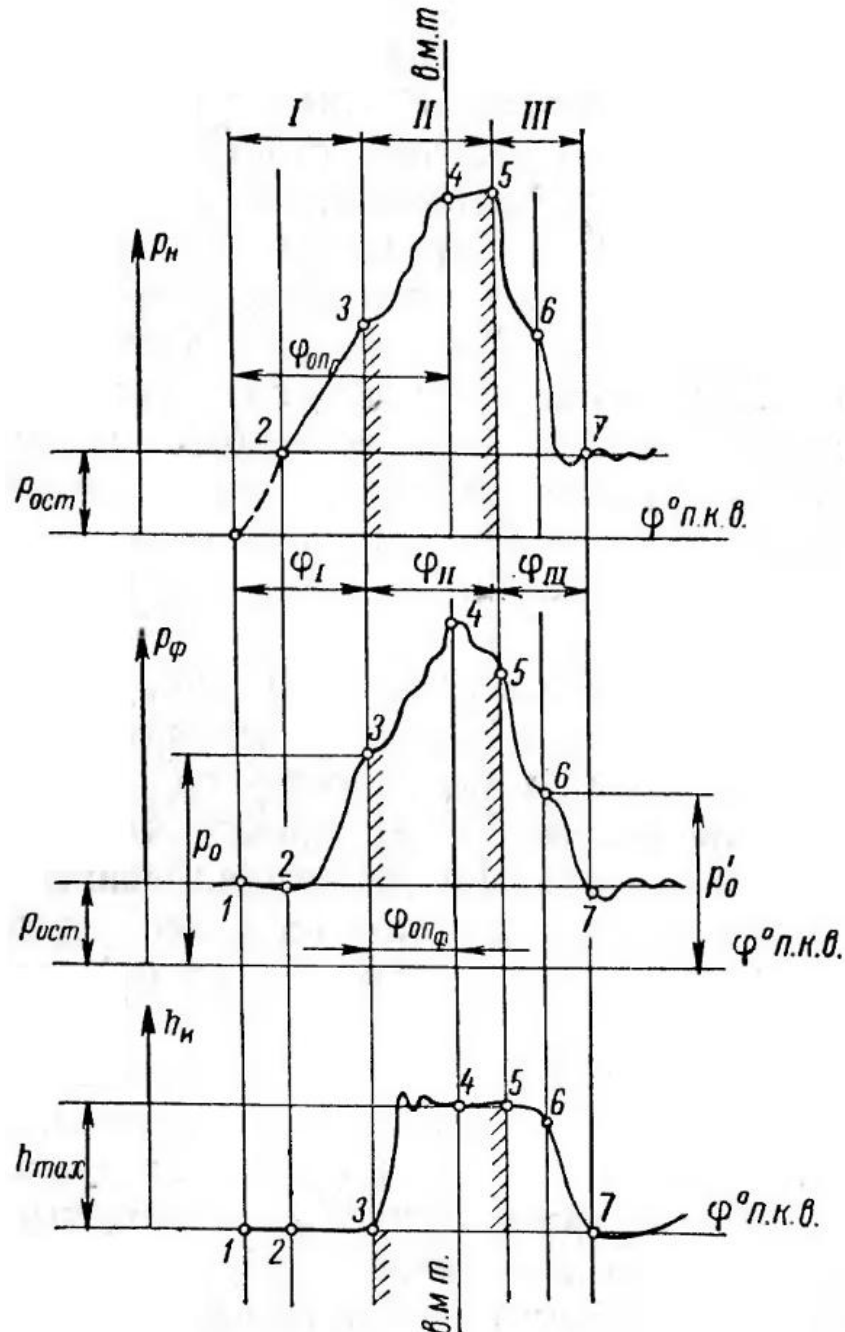


Рисунок 3.1 – Суміщені характеристики процесу впорскування палива:

$$p_{\text{пнвт}} = f(\varphi_{\text{вп}}); p_{\phi} = f(\varphi_{\text{вп}}); h_{\Gamma} = f(\varphi_{\text{вп}})$$

Оптимальний кут випередження становить $\varphi_{\text{оп}}^{\phi} = \varphi_i + \Delta\varphi$, де для малооборотових дизелів (МОД) $\Delta\varphi \approx 0...3^{\circ}$ та середньо обортових (СОД) $\Delta\varphi \approx 3...5^{\circ}$ таким чином,

$\varphi_{\text{оп}}^{\Phi}$ приблизно дорівнює куту затримки займання палива; при цьому досягаються помірні значення p_z та «м'яка» робота самого дизеля.

II фаза процесу паливоподачі φ_{II} називається періодом корисного (або активно-го) впорскування. Триває II фаза від початку підйому голки розпилювача форсунки (точка 3) до моменту відсікання подачі палива в насосі високого тиску (точка 5), що фактично характеризує геометричний кінець паливоподачі або кінець корисного ходу плунжера паливного насосу високого тиску h_r , що складає частину його повного ходу h_n . Тривалість II фази процесу паливоподачі напряду залежить від навантаження дизельного двигуна і визначається корисним ходом плунжера паливного насосу високого тиску.

III фаза процесу паливоподачі φ_{III} , яку прийнято називати періодом підтікання палива. III фаза процесу паливоподачі триває від моменту відсікання у насосі високого тиску (точка 5) і закриття нагнітального клапану до моменту кінця подачі палива форсункою у камеру згоряння дизеля (точка 7), тобто фактично дійсного кінця паливоподачі. Ця III фаза процесу паливоподачі впорскування відбувається в основному за рахунок розвантаження об'єму нагнітальної системи від тиску відсікання p_n в паливному насосі високого тиску до тиску закриття голки розпилювача p'_0 (в точці 6), дещо меншого тиску її відкриття p_0 . Витікання палива за фазу процесу паливоподачі φ_{III} відбувається при значно зменшених швидкостях і тому впорскування палива стає досить млявим. Для скорочення цього періоду впорскування використовують так звані відсмоктувальні пояски на нагнітальних клапанах, що сприяють якнайшвидшому розвантаженню паливного трубопроводу високого тиску. Розглянутий вище механізм всього процесу впорскування палива в дизельному двигуні показує, що геометрична фаза паливоподачі по насосу високого тиску не відповідає дійсній фазі паливоподачі по форсунці ні за своєю величиною, ні за моментами початку та кінця паливоподачі.

Закон впорскування (або подачі) палива у дизелях. Під умовним терміном «закон впорскування» мають на увазі таку залежність витрати палива через паливну форсунку від кута п.к.в. φ° або часу τ'

$$g_{\text{п}} = f(\varphi^\circ) \text{ або } g_{\text{п}} = f(\tau')$$

					КРМ.142.6221м.25.22.03.ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

іншими словами, закон впорскування палива характеризується відносним розподілом палива в процесі його одиничного впорскування у камеру згоряння.

Закон впорскування палива залежить від самого типу системи впорскування двигуна, її конструктивних параметрів та від режиму роботи дизеля.

Як відомо з теорії двигунів внутрішнього згоряння, закон впорскування палива має досить значний вплив на динамічні показники перебігу самого процесу згоряння.

Якщо мати закон впорскування $g_{\pi}=f(\varphi^{\circ})$ г/° п.к.в, наприклад такий, як показано на рис. 3.2 а, можна побудувати залежність $g_{\pi}^{\Sigma}=f(\varphi^{\circ})$ [г/Δφ п.к.в], у якої її ординати будуть дорівнювати сумарній кількості палива, що надійшло в робочій циліндр дизеля за час від початку впорскування палива до розглянутого моменту x , наприклад за певний період затримки займання φ_i , (див. рис. 3.2, б).

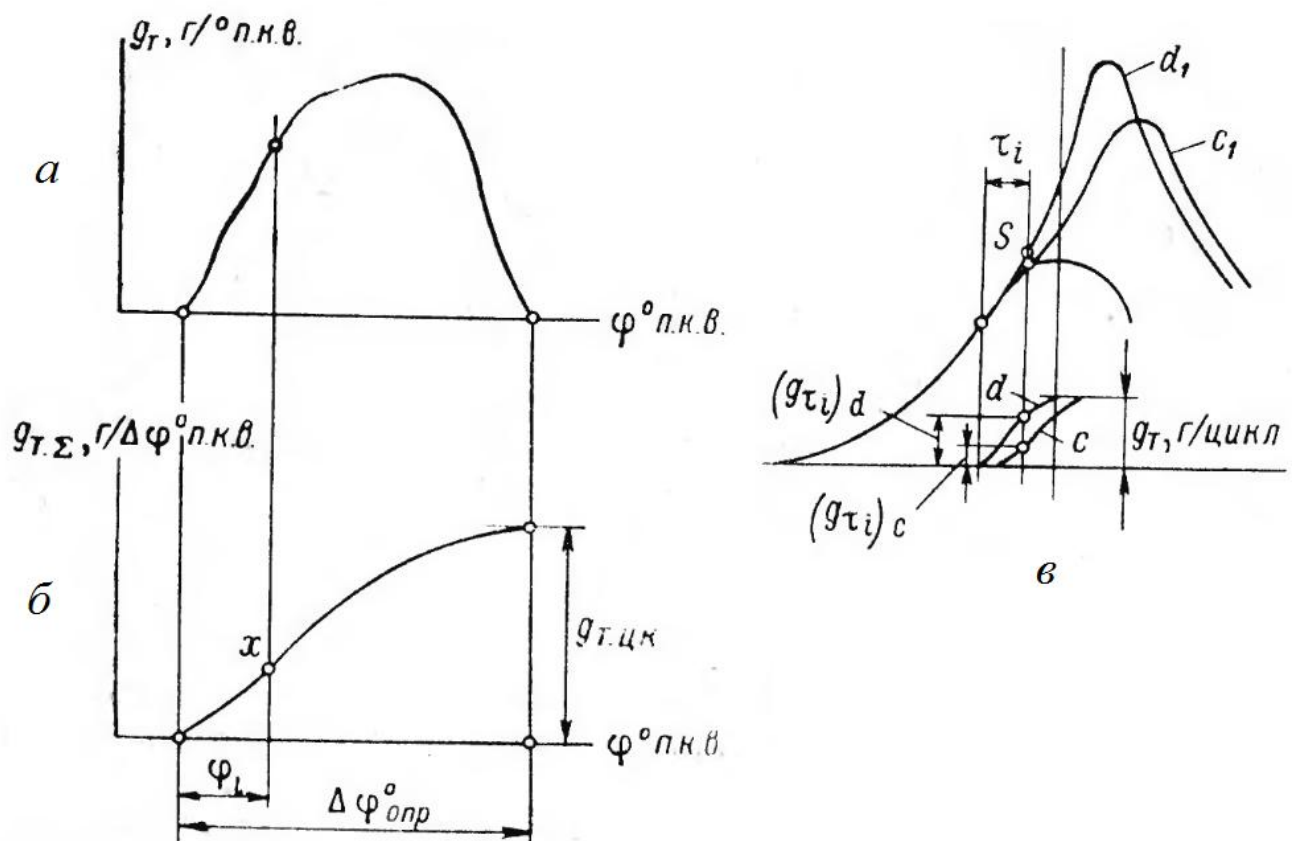


Рисунок 3.2 – Закон подачі палива дизельного двигуна:

$a - g_{\pi}=f(\varphi)$; $б - g_{\pi}^{\Sigma}=f(\varphi)$; $в -$ вплив g_{π}^{Σ} на процес згоряння у дизелі

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.22.03.ПЗ

Аркуш

37

На рисунку 5, в показані залежності наростання сумарної кількості поданого за одне впорскування (c, d) палива g_{Π}^{Σ} , поєднані з кривими зміни тиску газів у циліндрі (c_1, d_1). З представлених на рисунку кривих c і d видно, що при більш крутому наростанні кількості поданого палива (d) за період затримки самозаймання τ_i циклової дози палива надходить значна його частка від усієї подачі $g_{\Pi}^{\text{ном}}$, що викликає досить різке наростання тиску у циліндрі дизеля $\Delta p/\Delta \varphi$ і збільшення максимального тиску згоряння p_z , тобто збільшується так звана «жорсткість» роботи дизельного двигуна, що досить негативно впливає на термін його служби. Навпаки, при менш різкому наростанні кількості поданого до камери згоряння дизеля палива (крива c) процес згоряння у двигуні буде більш «м'яким» та максимальний тиск згоряння p_z знизиться, однак загальна тривалість впорскування трохи збільшується, що призведе до деякого підвищення питомої витрати палива двигуном.

Для зменшення кількості поданого в циліндр палива за період затримки займання, тобто для отримання більш «м'якої» роботи дизельного двигуна в деяких випадках застосовують так зване ступінчасте впорскування, а також подвійне впорскування (рис. 3.3, а, б).

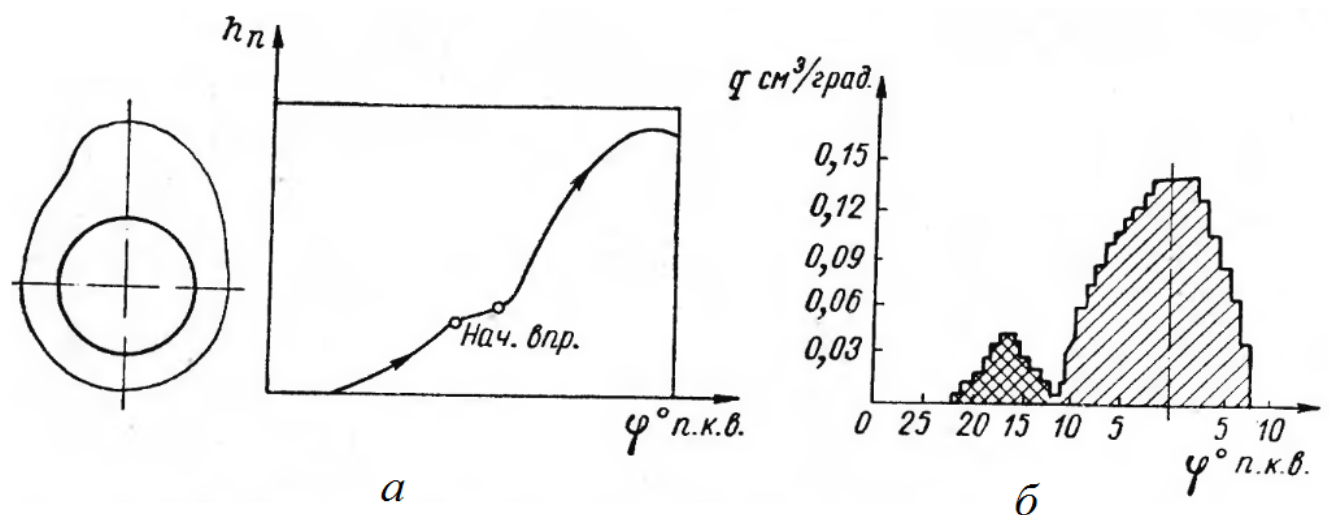


Рисунок 3.3 – Ступінчасте впорскування палива в дизелях:

$$a - h_{\Pi} = f(\varphi); \quad б - q = f(\varphi)$$

При ступінчастому впорскуванні у дизелях подача палива здійснюється без перерви, однак відносна кількість палива, що впорскується за початковий період (приблизно за φ_i°), менша за нормальну.

При подвійному впорскуванні дизельного палива голка розпилювача форсунки відкривається двічі: перший раз відкривається при збільшеному куті випередження впорскування, а другий раз відкривається після займання палива – фактично основне впорскування.

3.2. Дослідження впливу параметрів налаштування паливної апаратури на ефективність енергоперетворення у судновому дизелі Wärtsilä 10RT-flex-96C

Для отримання найбільш сприятливих та ефективних умов протікання процесу змішування та згоряння паливо повітряної суміші в дизельному двигуні треба вибрати оптимальний (для даного типу дизельного двигуна) закон паливоподачі при встановлених при цьому одночасно оптимальних – *випередженні впорскування* і *загальній тривалості впорскування* циклової дози палива.

Таким чином для здійснення дослідження та забезпечення оптимізації роботи паливної апаратури суднового двигуна типу 10ДКРН 96/250 (Wärtsilä 10RT-flex-96C) здійснюємо моделювання номінального режиму роботи двигуна 10RT-flex-96C для різного поєднання факторів впливу (*випередженні впорскування* і *загальної тривалості впорскування*) з використанням плану-матриці повного факторного експерименту.

Повний факторний експеримент, який застосовано у роботі є таким експериментом, під час реалізації якого встановлюються усі можливі варіанти поєднання рівнів обраних факторів впливу. Для встановлення необхідної загальної кількості станів об'єкта дослідження яким у нашому випадку є головний судновий дизельний двигун 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) виробництва фірми Wärtsilä використовуємо залежність:

$$N = p^k,$$

де k – кількість факторів впливу на процес упорскування; p – кількість рівнів факторів впливу на процес упорскування.

Для здійснення дослідження та забезпечення оптимізації роботи паливної апаратури суднового двигуна типу 10ДКРН 96/250 визначаємо потрібні інтервали варіювання досліджуваних факторів впливу на процес упорскування та прийняті

					KPM.142.6221м.25.22.03.ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

обмеження при розрахунку робочого циклу суднового дизеля при зміні цих факторів. У якості факторів впливу, як зазначалося вище обираємо: випередження впорскування (позначаємо, як X_1) і загальну тривалість впорскування (позначаємо, як X_2). Основним рівнем цих обраних параметрів згідно паспортних даних дизеля 10RT-flex-96C виробництва фірми Wärtsilä є:

- випередження впорскування $\varphi_{\text{вип.}} = 5^\circ$ до ВМТ;
- загальна тривалість впорскування $\varphi_{\text{впор.}} = 28^\circ$ п.к.в.

Обираємо наступні значення інтервалів зазначених факторів:

- випередження впорскування $\varphi_{\text{вип.}} 2^\circ$ п.к.в.;
- загальна тривалість впорскування $\varphi_{\text{впор.}}^\circ$ п.к.в.

Цільовою функцією для здійснення дослідження та забезпечення оптимізації роботи паливної апаратури суднового двигуна типу 10ДКРН 96/250 буде питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт·год). З розрахунку робочого циклу у другому розділі кваліфікаційної роботи було встановлено, що питома ефективна витрата палива на номінальному режимі становить $g_e = 0,1808$ кг/(кВт·год).

Для експерименту з двома факторами (випередження впорскування та загальна тривалість впорскування), кожен з яких має три рівня, матимемо:

$$N = 3^2 = 9.$$

Для забезпечення спрощення та уніфікації позначень основний рівень фактора впливу кодують, як $x = 0$, верхній рівень, як $x = +1$, а нижній – $x = -1$. Для факторного експерименту типу 3^k застосуємо наступну залежність:

$$K = \frac{1}{3} \left(Ціле \left[\frac{i-1}{3^{(j-1)}} \right] + 1 \right) - Ціле \left(\frac{1}{3} \left(Ціле \left[\frac{i-1}{3^{(j-1)}} \right] + 1 \right) \right),$$

де i – номер досліджу; j – номер фактора впливу. Якщо $K = 1/3$, то $x_j^i = 1$; $K = 2/3$, то $x_j^i = 0$; $K = 0$, то $x_j^i = -1$.

Плану-матриці повного факторного експерименту 3^k в кодовому та абсолютному вигляді представлено у таблиці 3.1 та 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Плану-матриця повного факторного експерименту 3^k в кодовому вигляді для дослідження впливу параметрів налаштування паливної апаратури

№ досліду	Фактор X_1 ($\varphi_{\text{вип.}}$)	Фактор X_2 ($\varphi_{\text{впор.}}$)
1	1	1
2	0	1
3	-1	1
4	1	0
5	0	0
6	-1	0
7	1	-1
8	0	-1
9	-1	-1

Таблиця 3.2 – Плану-матриця повного факторного експерименту 3^k в абсолютному вигляді для дослідження впливу параметрів налаштування паливної апаратури

№ досліду	Фактор X_1 ($\varphi_{\text{вип.}}$)	Фактор X_2 ($\varphi_{\text{впор.}}$)
1	177	30
2	175	30
3	173	30
4	177	28
5	175	28
6	173	28
7	177	26
8	175	26
9	173	26

Після формування плану-матриць було виконано розрахунок робочого циклу для номінального режиму головного суднового дизельного двигуна 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) виробництва фірми Wärtsilä дев'ять разів. Результати серії розрахунків представлено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку робочого циклу для номінального режиму головного суднового дизельного двигуна 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) виробництва фірми Wärtsilä для дев'яти варіантів налаштування паливної апаратури

№ з/п	Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	N_e , кВт	57178,24	57167,72	57188,81	57214,80	57158,05	57234,21	57204,26	57166,07	57209,27
2	q_e , кг/(кВт·год)	0,1839	0,1818	0,1797	0,1819	0,1808	0,1780	0,1802	0,1784	0,1766
3	P_k	3,726	3,725	3,725	3,719	3,723	3,715	3,728	3,727	3,725
4	$\varphi_{\text{зг.}}$, град.	87,76	89,16	89,03	81,82	82,75	83,27	76,64	77,33	77,79
5	$\varphi_{\text{з.}}^{\text{восп.}}$, град.	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	$\varphi_{\text{н.}}^{\text{згор.}}$, град.	178	176	174	178	176	174	178	176	174
7	$P_{\text{inj.}}$, МПа	100,882	99,077	97,197	111,645	109,739	107,937	125,379	123,396	121,418

8	d_{32} , мкм	15,229	15,344	15,508	14,867	14,952	15,053	14,348	14,449	14,539
9	Φ_{wall} , град.	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	Φ_{fr} , град.	6	6	6	6	6	6	6	6	6
11	P_z , кПа	15941,91	16753,89	17521,98	16152,61	17109,22	17883,37	16538,31	17410,93	18324,12
12	T_z , К	1851,57	1871,72	1904,22	1899,56	1911,19	1937,63	1914,04	1938,76	1965,08
13	P_i , кПа	1956,59	1956,22	1956,95	1957,84	1955,89	1958,50	1957,48	1956,17	1957,65
14	P_e , кПа	1858,76	1858,41	1859,10	1859,94	1858,10	1860,58	1859,60	1858,36	1859,76
15	P_s , кПа	371,36	371,22	371,20	370,66	371,09	370,24	371,57	371,40	371,21
16	T_s , К	299,33	299,33	299,32	299,32	299,32	299,31	299,33	299,33	299,32
17	P_c , кПа	11169,76	10797,77	10134,71	10939,11	10595,32	10085,80	10979,48	10600,77	10116,57
18	T_c , К	957,81	951,66	936,84	960,17	950,27	939,15	958,87	952,93	942,77
19	T_i , К	664,9	665,0	660,6	666,6	661,6	658,7	661,7	654,2	651,4
20	P_i , кПа	344,2	346,2	347,6	344,8	346,8	346,8	347,2	348,1	349,2
21	T_{3i} , К	652,5	653,3	648,8	654,4	649,6	646,6	649,8	642,2	639,4
22	T_b , К	1157,0	1145,6	1135,9	1159,2	1140,7	1129,5	1142,0	1131,0	1119,9
23	P_b , кПа	1253,7	1235,6	1208,1	1228,2	1209,6	1192,6	1215,4	1196,4	1181,2
24	T_k , К	451,1796	451,1252	451,1195	450,9092	451,0750	450,7490	451,2617	451,1982	451,1211
25	T_r , К	1049,30	1038,25	1028,29	1050,75	1032,83	1021,97	1034,23	1023,41	1012,50
26	Q_w , кВт	5440,4	5482,9	5502,0	5450,2	5476,1	5519,9	5446,9	5495,5	5546,0
27	Q_m , кВт	1459,0	1485,1	1508,3	1469,2	1491,9	1520,6	1474,6	1503,7	1534,5
28	Q_w^{OH} , кВт	15437,2	14971,2	14597,0	15032,3	14629,1	14269,6	14754,4	14385,6	14068,0
29	Q_w^{BH} , кВт	38784,2	37439,8	36275,7	37661,4	36438,8	35461,1	36731,3	35640,6	34694,6
30	G_k , кг/с	96,8182	93,9279	91,5836	94,4403	91,8108	89,7397	92,4881	90,2125	88,2639
31	G_t , кг/с	97,9007	94,5147	92,5219	94,9579	92,7472	90,8676	93,4367	92,0016	90,1762
32	N_{dt} , кВт	15383,583	14919,2011	14546,3078	14980,105	14578,3031	14220,0523	14703,2009	14335,6775	14019,1863
33	N_{ek} , кВт	15379,382	14920,2610	14558,1697	14973,705	14569,7269	14208,1139	14706,8003	14330,0762	14020,5439
34	γ_r	0,0624	0,0688	0,0747	0,0678	0,0742	0,0796	0,0725	0,0784	0,0838
35	α	2,19	2,14	2,15	2,19	2,16	2,15	2,16	2,15	2,15
36	Φ_a	1,260	1,240	1,237	1,266	1,242	1,228	1,244	1,230	1,216

Для побудови необхідних графічних залежностей основних параметрів роботи судового дизельного двигуна 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) виробництва фірми Wärtsilä від значень обраних факторів впливу на процес паливоподачі використовуємо значення матриць A коефіцієнтів регресійного рівняння зміни потрібних параметрів (табл. 3.4). Ці значення матриць A як зазначалося є коефіцієнтами регресійної функції, використавши які в програмному середовищі Mathcad будуємо необхідні графіки поверхонь змін параметрів від випередження впорскування $\Phi_{вип.}$ та загальна тривалість впорскування $\Phi_{впор.}$ (рис. 3.4–3.7).

Таблиця 3.11 – Значення матриць A коефіцієнтів регресійної функції зміни параметрів дизеля 10RT-flex-96C

Коефіцієнти матриці A для g_e	Коефіцієнти матриці A для P_z	Коефіцієнти матриці A для T_z
0,527547249	136,9147961	54040,65737
-0,003849093	-0,396253501	-596,5709258
-0,007720323	-3,26118921	94,63373151
3,81147E-05	0,01285829	-0,100429746
1,0736E-05	-0,001109994	1,678768063
3,39084E-05	0,014994451	-1,659349131

Рівняння регресійної функції для обраних параметрів матимуть наступний вигляд:

					КРМ.142.6221м.25.22.03.ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– питома ефективна витрата палива:

$$g_e(x,y) := a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y + a_4 \cdot xy + a_5 \cdot x^2 + a_6 \cdot y^2;$$

– максимальний тиск у циліндрі при згорянні палива:

$$P_e(x,y) := a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y + a_4 \cdot xy + a_5 \cdot x^2 + a_6 \cdot y^2;$$

– максимальна температура у циліндрі при згорянні палива:

$$T_e(x,y) := a_1 + a_2 \cdot x + a_3 \cdot y + a_4 \cdot xy + a_5 \cdot x^2 + a_6 \cdot y^2.$$

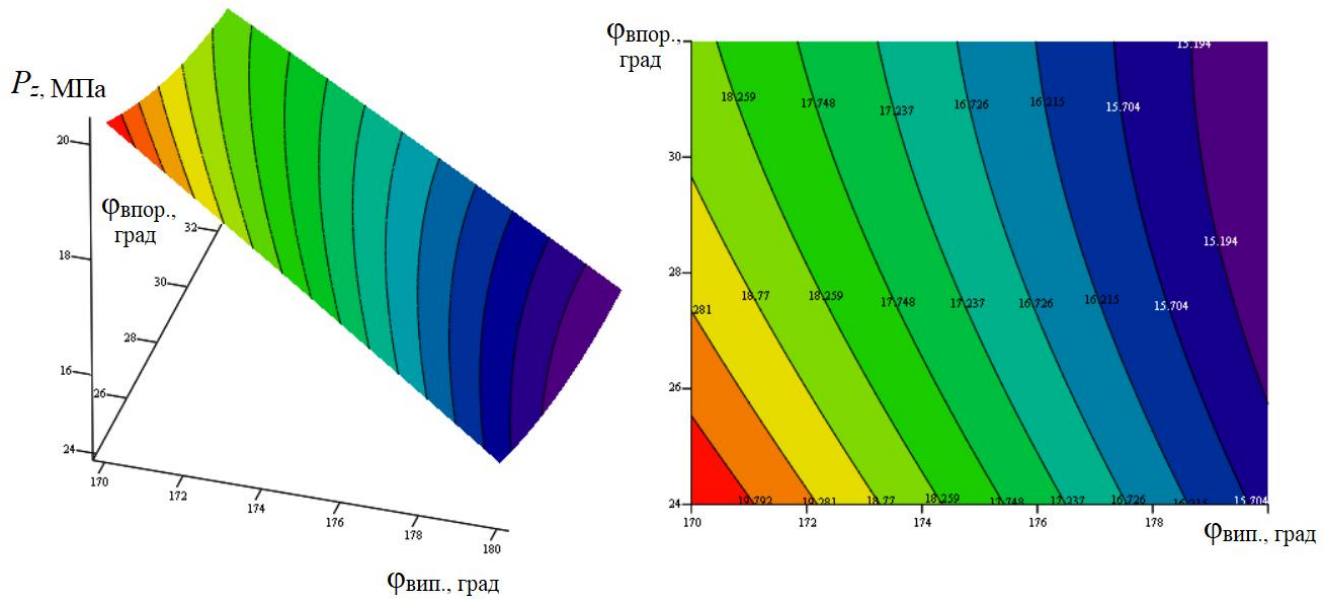


Рисунок 3.4 – Графік функції максимального тиск у циліндрі дизеля 10RT-flex-96C при згорянні палива

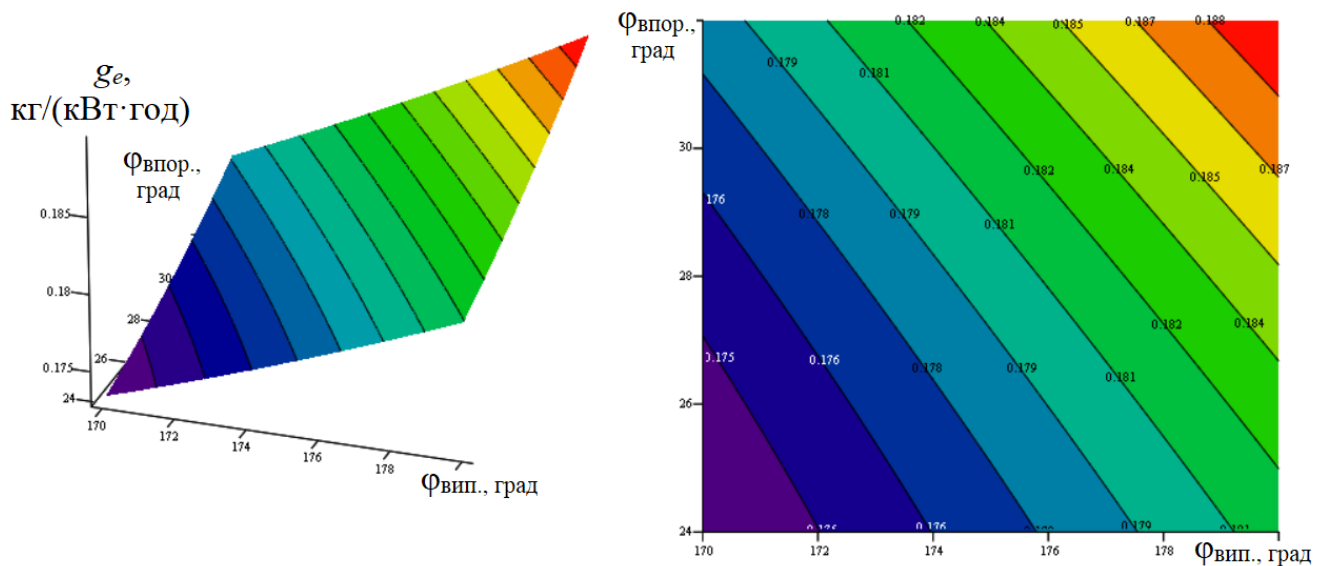


Рисунок 3.5 – Графік функції питомої ефективної витрати палива дизеля 10RT-flex-96C при згорянні палива

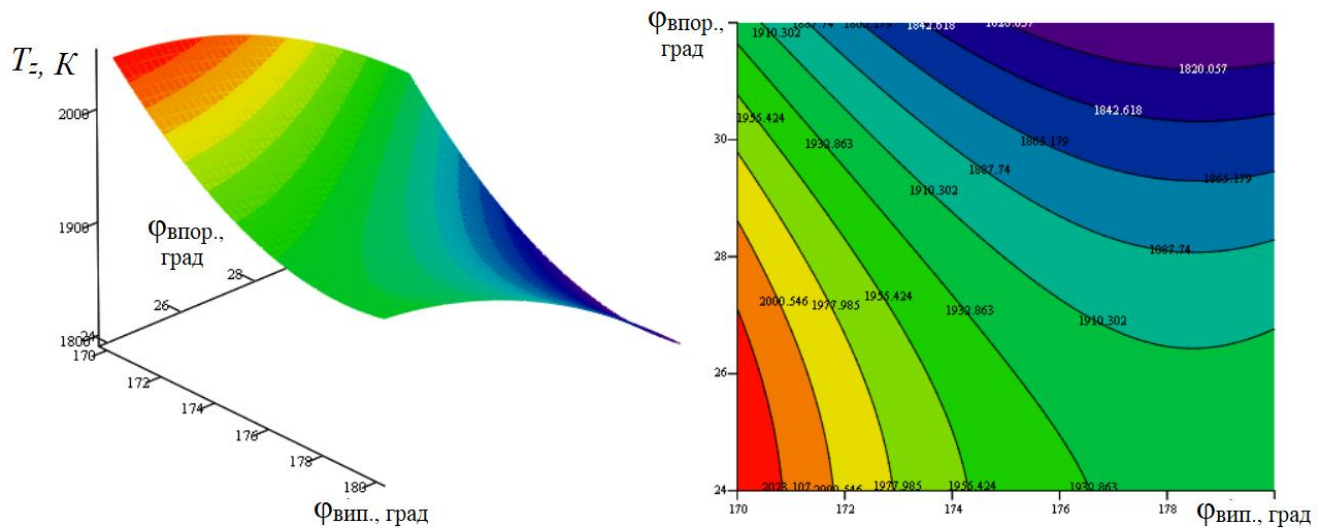


Рисунок 3.6 – Графік функції максимальної температури у циліндрі при згорянні палива дизеля 10RT-flex-96C при згорянні палива

Після побудови графіків функції максимальної температури та тиску у циліндрі при згорянні, а також питомої ефективної витрати палива дизеля 10RT-flex-96C об'єднуємо їх на одному полі (рис.3.7) для визначення оптимальної точки А.

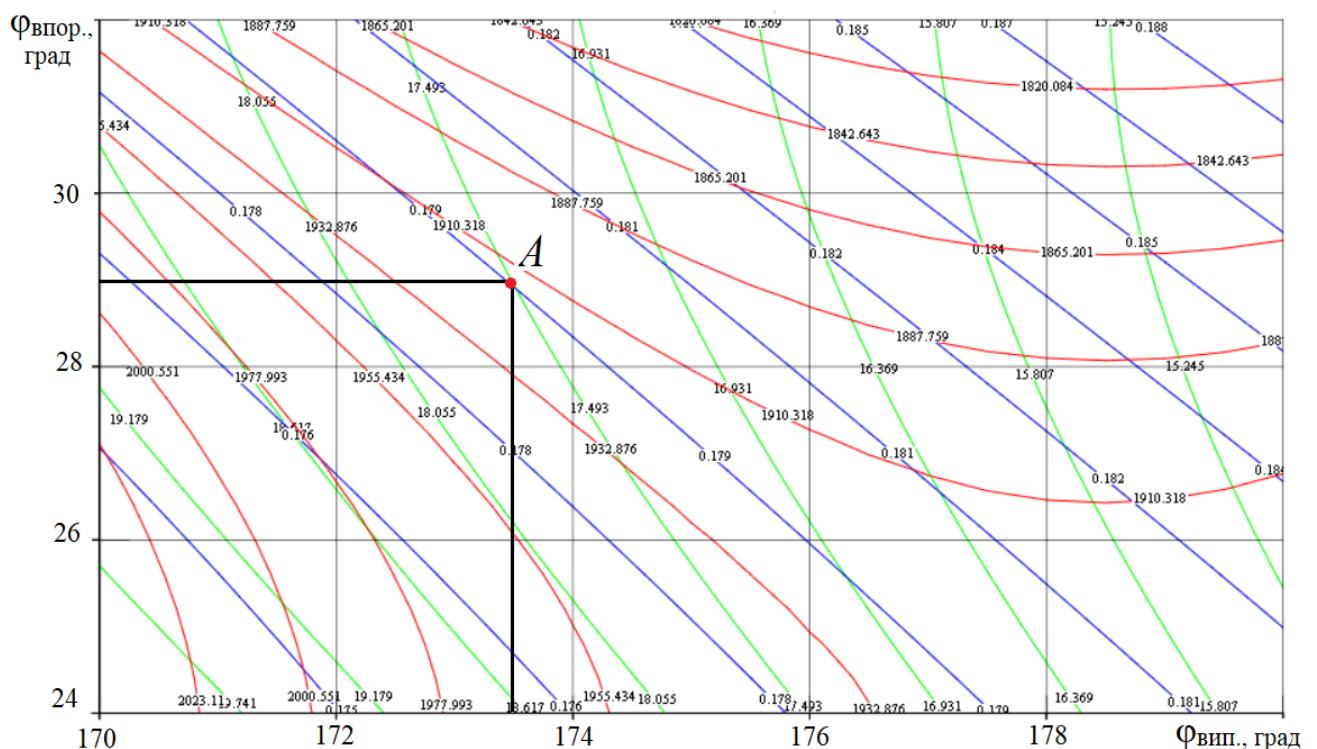


Рисунок 3.7 – Графік функції максимальної температури та тиску у циліндрі при згорянні, а також питомої ефективної витрати палива дизеля 10RT-flex-96C

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221м.25.22.03.ПЗ

Аркуш

44

Перед встановленням оптимальних співвідношень кута випередження впорскування $\phi_{\text{вип.}}$ та загальної тривалості процесу впорскування $\phi_{\text{впор.}}$. Потрібно закласифікувати певні обмеження за такими параметрами, як максимальний тиск та температура згоряння. Виходячи із загальноприйнятих рекомендацій та рекомендацій заводу виробника, щодо міцності двигуна 10RT-flex-96C виробництва фірми Wärtsilä максимально допустиме значення температури згоряння не повинне перевищувати 2000 К, а максимальне значення тиску згоряння – 17,5 МПа. Відповідно до цього за графіком поданим на рис. 3.7 встановлюємо оптимальну точку А, в якій буде мінімальне значення питомої ефективної витрати палива g_e при неперевищенні заданих обмежень за температурою та тиском згоряння. Таким чином точка А відповідає значенням випередження впорскування $\phi_{\text{вип.}} = 6,5^\circ$ до ВМТ при загальній тривалості процесу впорскування $\phi_{\text{впор.}} = 29^\circ$ п.к.в.

За таких умов налаштування паливної апаратури суднового дизельного двигуна 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) виробництва фірми Wärtsilä на номінальному режимі роботи він матиме питому ефективну витрату палива $g_e = 0,1790$ кг/(кВт·год) проти 0,1808 кг/(кВт·год) за умов заводських налаштувань.

3.3. Розробка рекомендацій щодо внесення змін в конструкцію паливної системи суднового дизеля 10RT-flex-96C

Для забезпечення ефективного налаштування паливної апаратури суднового дизельного двигуна 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) виробництва фірми Wärtsilä пропонується оснастити двигун досить передовою та сучасною акумуляторною системою паливоподачі (Common Rail). В якій буде застосовано сучасний паливний насос високого тиску, що забезпечує досить високий тиск в паливному акумуляторі системи – на рівні у 100,0 МПа. Принципіальна схема такої паливної системи представлена на рис. 3.8.

Принцип функціонування її полягає в тому, що є певного розміру загальний акумулятор високого тиску, який заповнюється паливом під досить високим тиском. А потім цей паливний акумулятор обслуговує паливні форсунки подаючи до них паливо під значним та постійним тиском. Заповнення акумулятора паливом

					КРМ.142.6221м.25.22.03.ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

здійснює паливний насос високого тиску (ПНВТ). Він не має регулювання своєї подачі, а лише виконує функцію стискання палива до потрібного тиску. Регулювання циклової дози здійснюється не насосом а встановленим електромагнітним клапаном, який розміщено на форсунках. Цей клапан чітко керує усіма фазами впорскування циклової порції палива у камеру згоряння.

Після подачі сигналу на електромагнітний клапан відбувається підриг голки розпилювача форсунки й відповідно здійснюється розпил палива в камері згоряння двигуна.

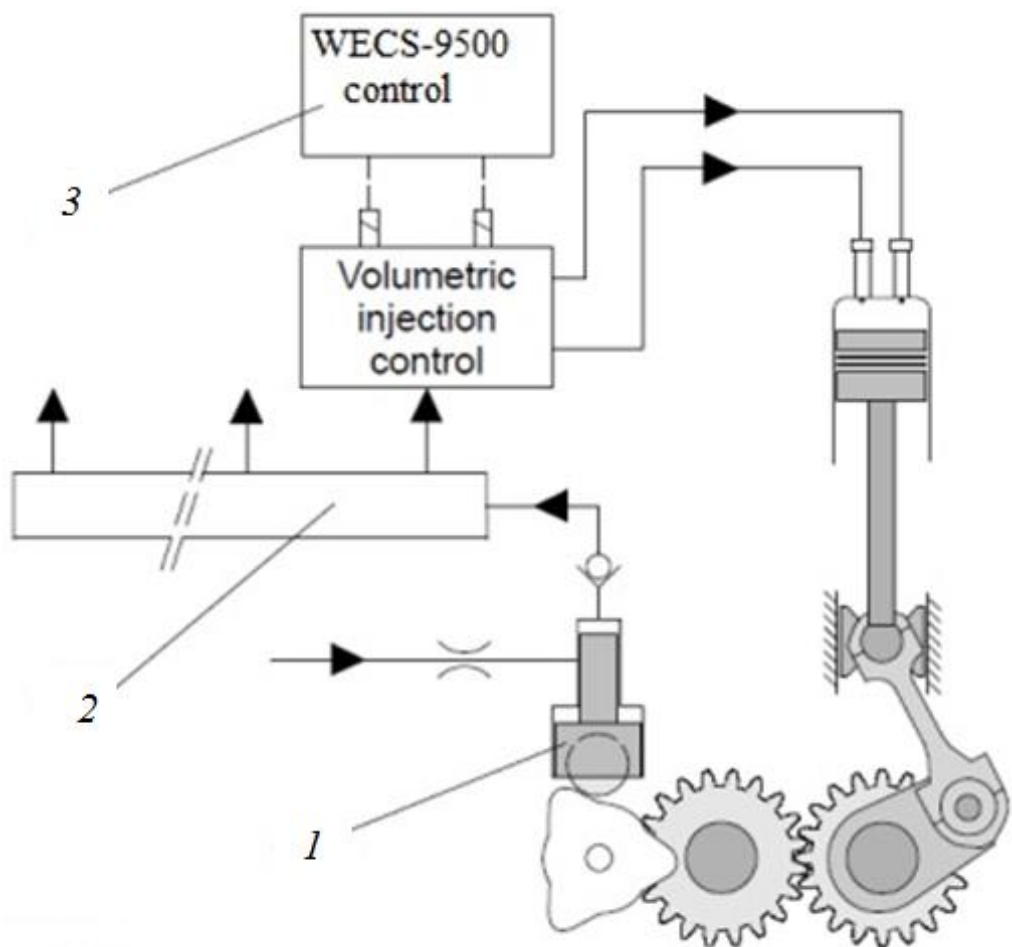
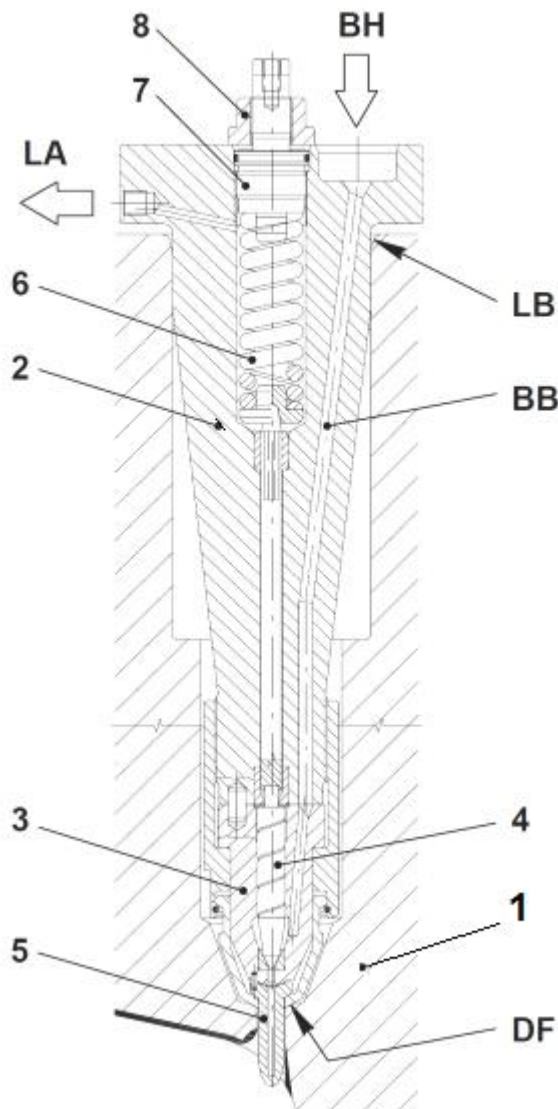


Рисунок 3.8 – Принципова схема функціонування акумуляторної паливної системи дизеля 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250)

Принципова схема функціонування акумуляторної паливної системи дизеля 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) фірми Wärtsilä, яка подана на рисунку 3.8 включає в себе наступні складові: 1 – паливний насос високого тиску без регулювання

На кожний робочий циліндр у кришці двигуна розміщено по дві паливні форсунки закритого типу (див. рис. 3.9).



1 – циліндрова кришка; 2 – корпус паливної форсунки; 3 – корпус голки з встановленим сідлом; 4 – голка розпилювача паливної форсунки; 5 – розпилювач паливної форсунки з виконаними сопловими отворами; 6 – зворотна пружина паливної форсунки; 7 – натягувач пружини паливної форсунки; 8 – штуцер для подачі керуючого форсункою масла

3.4. Висновки до розділу

У третьому розділі виконано аналіз основних параметрів паливних систем дизелів, що впливають на процес паливоподачі.

Виконано дослідження та оптимізація роботи паливної апаратури суднового двигуна типу 10ДКРН 96/250 (Wärtsilä 10RT-flex-96C) за такими параметрами, як кут випередження впорскування $\varphi_{\text{вип.}}$ та загальна тривалість процесу впорскування $\varphi_{\text{впор.}}$. В результаті було встановлено оптимальне співвідношення значення випередження впорскування $\varphi_{\text{вип.}} = 6,5^\circ$ до ВМТ та загальної тривалості процесу впорскування $\varphi_{\text{впор.}} = 29^\circ$ п.к.в. За таких умов налаштування паливної апаратури суднового дизельного двигуна 10RT-flex-96C на номінальному режимі роботи було досягнуто зниження питомої ефективної витрати палива на рівні 1,8 г/(кВт·год), при цьому закладені обмеження максимальних тиску та температури процесу згоряння не було перевищено.

					<i>KPM.142.6221м.25.22.03.ПЗ</i>	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ НАЛАШТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ СУДНОВОГО ДВИГУНА 10ДКРН 96/250 (WÄRTSILÄ 10RT-FLEX-96C)

4.1. Техніко-економічне обґрунтування оптимізації роботи паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C

Техніко-економічне обґрунтування реалізації проекту з оптимізації та модернізації паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) є базовим етапом виконання кваліфікаційної магістерської роботи, що надає досить розгорнуте обґрунтування розробленому проекту та можливість всебічно та якісно оцінити ефективність прийнятих у роботі технічних рішень, запланованих заходів з налаштування роботи двигуна, а також вкладених інвестицій в проект модернізації головного двигуна.

Техніко-економічне обґрунтування можливості реалізації проекту з оптимізації та модернізації паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) повинно:

- встановити, що покращений головний судновий дизельний двигун знайде свого користувача, визначити можливі об'єми ринку збуту покращеного головного суднового двигуна та перспективи його подальшого вдосконалення;
- зробити оцінку можливих ризиків та витрат, потрібних для реалізації модернізації паливної системи та збуту;
- встановити рівень прибутковості від модернізованого головного суднового двигуна та показати його безперечну ефективність для судновласника.

При здійсненні техніко-економічного обґрунтування реалізації проекту з оптимізації та модернізації паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) необхідно обов'язково зазначати усі посилання на першоджерела застосованої інформації.

					КРМ.142.6221м.25.22.04.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

При виборі потрібних джерел інформації вкрай потрібно віддавати більшу перевагу тим, інформація з яких обов'язково може бути визнана достовірною і максимально об'єктивною. До таких джерел відноситься:

- усі офіційні статистичні дані;
- свіжа та актуальна на сьогодні нормативно-правова документація;
- різноманітна інформація світових загальновизнаних аналітичних центрів та агентств;
- дані та інформація спеціалізованих галузевих видань;
- також офіційні Інтернет-ресурси.

При здійсненні техніко-економічного обґрунтування реалізації проекту з оптимізації та модернізації паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) потрібно досить ретельно розглянути та врахувати наявні науково-технічні рішення, а також досягнення у цьому напрямку. Потрібно обов'язково відокремити та зробити глибокий аналіз позитивних й негативних аспектів вже існуючих техніко-економічних рішень. Також потрібно додатково розробити деякий комплекс заходів завдяки реалізації яких покращений головний судновий дизель матиме значні технічні, а також паливно-економічні переваги над вже існуючими головним двигуном.

Виконане дослідження та оптимізація роботи паливної апаратури суднового двигуна типу 10ДКРН 96/250 (Wärtsilä 10RT-flex-96C) за такими параметрами, як кут випередження впорскування $\varphi_{\text{вип.}}$ та загальна тривалість процесу впорскування $\varphi_{\text{впор.}}$ дозволили досягнути зниження питомої ефективної витрати палива на рівні 1,8 г/(кВт·год), що є значним показником та безумовно позитивно відзначиться на загальних експлуатаційних витратах судновласника.

При проведенні техніко-економічного обґрунтування реалізації проекту з оптимізації та модернізації паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250), яке подано у таблицях 4.1 та 4.2, здійснено порівняння капітальних та експлуатаційних витрат при заводських та запропонованих налаштуваннях роботи паливної апаратури.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні характеристики суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250) при заводських та запропонованих налаштуваннях роботи паливної апаратури

№ з.п.	Найменування показників	Позначення	Розмірність	Базовий 10RT-flex-96C	Оптимізований 10RT-flex-96C
1	Потужність	N_e	кВт	57200	57200
2	Частота обертання	n	хв ⁻¹	102	102
3	Діаметр циліндра	D	м	0,96	0,96
4	Хід поршня	S	м	25	2,5
5	Питома витрата палива	g_e	кг/кВт·год	0,1808	0,179
6	Механічний ккд	η_m	-	0,95	0,95
7	Питома витрата масла	g_m	кг/кВт·год	0,0003616	0,000358
8	Вага	G	кг	1760000	1760000
9	Габарити	L	мм	19194	19194
10		B	мм	7620	7620
11		H	мм	13519	13519
12	Ціна двигуна	Π	грн	89056800	89959500
13	Ціна палива	$\Pi_{\text{п}}$	грн/кВт·год	12,613953	12,48837209
14	Ціна масла	$\Pi_{\text{м}}$	грн/кг	29,5	29,5
15	Час роботи за рік	t	год	3250	3250
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 потужності	$K_{\text{п}}$	-	0,95	0,95
20	Коефіцієнт частини вартості капітального ремонту	$K_{\text{к.р}}$	-	0,3	0,3
21	Час безперервної роботи	$t_{\text{н.р}}$	год	20	20
22	Ресурс двигуна до першого перебирання	$t_{\text{пер}}$	год	12000	12000
23	Ресурс двигуна до капітального ремонту	$t_{\text{к.р}}$	-	78050	78050
24	Нормативний коефіцієнт порівняння економічної ефективності	E	кВт	0,15	0,15

Таблиця 4.2 – Розрахунок та результати техніко-економічного обґрунтування реалізації проекту з оптимізації та модернізації паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250)

№ з.п.	Найменування	Позначення	Спосіб визначення	Базовий 10RT-flex-96C	Оптимізований 10RT-flex-96C
1	Річна продуктивність оптимізованого дизеля	N, кВт·год в рік	$N = K_{\Pi} \cdot N_{\varepsilon} \cdot t$	176605000	176605000
2	Термін служби	T, рік	$T = \frac{t_{\text{ксп}}}{t}$	24,02	24,02
3	Річні поточні витрати на паливо	З _п , грн	$З_{\text{п}} = N \cdot \Pi_{\text{п}} \cdot g_{\varepsilon}$	402765855,9	394786102,7
4	Річні поточні витрати на масло	З _м , грн	$З_{\text{м}} = g_{\text{м}} \cdot N \cdot \Pi_{\text{м}}$	1883880,856	1865125,405
5	Річні витрати на поточний ремонт	З _{п.р} , грн	$З_{\text{п.р}} = \frac{b \cdot t \cdot \Pi}{t_{\text{пер}}}$	413478	417669,1071
6	Річні витрати на капітальний ремонт	З _{к.р} , грн	$З_{\text{к.р}} = \frac{K_{\text{к.р}} \cdot t \cdot \Pi}{t_{\text{к.р}} \cdot \varepsilon_{\text{min}}}$	1011360,78	1021612,17
7	Річний економічний ефект у споживача	U ₁ , грн	$U_1 = З_{\text{п}} + З_{\text{м}} + З_{\text{к.р}} + З_{\text{п.р}}$	406074575,49	398090509,35
8		U ₁ ^{1б} , грн	$U_1^{1б} = \frac{N_{\varepsilon}}{N_{\varepsilon}} \cdot U_1^{\varepsilon}$	406074575,5	-
9	Річний економічний ефект у споживача від використання оптимізованого дизеля	E _к , грн	$E_{\text{к}} = \left[\Pi_{\varepsilon} \cdot \frac{N_{\varepsilon}}{N_{\varepsilon}} \cdot \left(\frac{1}{T_{\varepsilon}} + E_{\varepsilon} \right) + \frac{U_1^{1б} - U_1^{\varepsilon}}{\frac{1}{T_{\varepsilon}} + E_{\varepsilon}} \right] - \Pi_{\varepsilon}$	40759099,23	
10	Додаткові одноразові витрати на оптимізацію дизеля	ΔK, грн	–	902700	
11	Річна економія при експлуатації оптимізованого дизеля	ΔS, грн	$\Delta S = U_1^{1б} - U_1^{\varepsilon}$	7984066,14	
12	Час окупності оптимізованого дизеля	T _{окуп} , рік/місяць	$T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta S}$	0,11/ 1,4	

4.2. Висновки до розділу

У розділі виконано техніко-економічне обґрунтування реалізації проекту з оптимізації та модернізації паливної системи суднового дизеля Wärtsilä 10RT-flex-96C (10ДКРН 96/250). Встановлено, що річна економія складатиме 7984066,14 грн, а капітальні матеріальні затрати на проведення робіт з налаштування та внесення змін в паливну систему дизеля окупляться за 0,11 року (або 1,40 місяці).

					<i>KPM.142.6221м.25.22.04.ПЗ</i>	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Розробка вимоги з охорони праці при підготовці та проведенні робіт з технічного обслуговування та ремонту головних двигунів та допоміжного обладнання

Підготовка та проведення робіт з технічного обслуговування (ТО) і ремонту головних судових або допоміжних дизельних двигунів здійснюються лише під керівництвом відповідальної особи, або керівника робіт.

До обов'язків керівника виконання робіт на двигуні входять:

- забезпечення узгодження дій усіх робітників, зайнятих роботами з технічного обслуговування і ремонту дизеля;
- підготовка спеціального інструменту, обладнання, устаткування, а також установка усіх необхідних тимчасових огорож та вивішування відповідних до робіт попереджувальних знаків небезпеки (табличок встановленого формату з відповідними попереджувальними написами);
- проведення інструктажу з техніки безпеки персоналу, що буде виконувати встановлений перелік робіт;
- забезпечення безпечних та належних умов праці.

На весь період виконання робіт з технічного обслуговування головного дизеля має бути введено в зачеплення валоповоротний пристрій (або зафіксовано іншим стопорним пристроєм). При цьому мають бути обов'язково вивішені відповідні попереджувальні таблички о проведенні робіт. На головному двигуні обов'язково необхідно перекрити усі масляні, паливні, повітряні клапани, а також клапани системи охолодження головного двигуна.

На судах які обладнано двома головними двигунами, які працюють на загальний гребний вал через поєднуючу гідромуфту, дизель, на якому будуть виконуватися роботи персоналом судна, повинен бути обов'язково надійно відключений

від цієї гідромуфти, а також обов'язково має бути включено валоповоротний або інший стопорний пристрій цього двигуна.

Після закінчення усіх потрібних робіт валоповоротний пристрій (чи стопорний) повинен бути відключений.

Задля уникнення травмування обслуговуючого персоналу люки картера головного суднового двигунів внутрішнього згоряння обов'язково слід відкривати через деякий проміжок часу, який встановлено інструкцією заводу-виробника (у разі зупинки головного дизеля через перегрів деталей циліндро-поршневої групи час до зняття люків значно збільшується).

Після відкриття картеру головного двигуна має бути забезпечено якісна його вентиляція, а також вентиляція машинних приміщень для безпечної роботи персоналу. Для проведення будь-яких робіт в картері суднового головного двигуна використовуються світильники чи ліхтарі у вибухобезпечному виконанні з напругою не більше за 12 В.

При демонтажі кришок робочих циліндрів головного двигуна, паливних форсунок, пускових та запобіжних клапанів у разі їх пригорання до посадкових місць для здійснення їх підйому слід обов'язково застосовувати спеціальні знімні пристосування.

Задля уникнення травмування обслуговуючого персоналу перед виконанням демонтажу пускових, впускних і випускних клапанів, паливних форсунок, запобіжних клапанів на зупиненому (непрацюючому) головному двигуні слід обов'язково відкрити індикаторний кран для того щоб зняти надлишковий тиск у циліндрі.

Опресування паливних форсунок головних та допоміжних суднових дизелів має проводитися в спеціально відведених для цього приміщеннях з примусовою витяжною вентиляцією, обладнаних спеціальними випробувальними стендами з запобіжними прозорими ковпаками, які забезпечують захист людини від можливого травмування.

Після демонтажу циліндрових кришок головного суднового двигуна отвори робочих циліндрів двигуна мають бути закриті дерев'яними кришками. При спус-

					<i>KPM.142.6221м.25.22.05.ПЗ</i>	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ку в робочий циліндр головного двигуна для виконання вимірів та інших будь-яких робіт необхідно обов'язково користуватися спеціальним трапом. Сходінки такого трапу мають бути виконані з металевого чотиригранного прутка, який встановлено на ребро.

При здійсненні робіт в продувних, випускних ресиверах суворо забороняється просовувати руки в продувні і випускні вікна. Через отвори знятих випускних клапанів в кришках суднових малообертових головних двигунів з прямоточно-клапанною продувкою дозволяється проводити лише попередній огляд та оцінку стану порожнини циліндрів.

Суворо забороняється підтягування різьбових з'єднань паливних трубопроводів високого тиску під час роботи головного двигуна. При здійсненні пошуку місць розривів у паливних форсункових трубках не допускається здійснювати обмацування трубки рукою.

Для того щоб уникнути можливого скупчення в повітропроводах суднових головних і допоміжних дизелів парів змащувального масла вибухонебезпечної концентрації, їх обов'язково потрібно продувати стисненим повітрям.

Будь-який механізм або пристрій у приміщенні машинного відділення судна повинен бути негайно зупинені у наступних випадках:

- появі надмірної вібрації, шумів або стуків;
- неприпустимого (більш за норму роботи) нагрівання будь-якої деталі, частини або підшипників;
- досить різкої зміни частоти обертання або будь-яких параметрів робочого середовища (температури, тиску).

Якщо зупинка будь-якого суднового механізму викликана потребою у ремонті чи плановому огляду, повинні бути вжиті усі потрібні заходи, що унеможливають його довільне прокручування чи випадкове введення в роботу (включення).

Перед зупинкою для проведення робіт парового механізму обов'язково необхідно відкрити клапани продування.

При здійсненні продування золотникових коробок, різних циліндрів, паротрубопроводів, конденсаційних горщиків, балонів тощо суворо забороняється стояти або розміщати кінцівки проти продувних кранів. Щоб уникнути можливих опіків, до кранів продування слід додавати (нарощувати) металеві трубки, які забезпечили би відведення гарячого конденсату та пару під плити або в відповідні місця, значно віддалені від постів управління.

При складанні відцентрових сепараторів необхідно досить ретельно стежити за тим, щоб не в якому разі не залишалися різні сторонні предмети між барабаном та корпусом сепаратору, а також за правильністю збирання робочих тарілок й самого барабана. Не допускається наявність люфту в підшипнику вертикального валу. Також, не слід здійснювати зварювання чи нагрівання частин барабана сепараторів. При складанні відцентрових сепараторів особливу увагу слід звернути на стан різьби для кріплення барабана сепаратору на вертикальному валу. При відкритті та демонтажі кришки барабана сепаратора слід ретельно перевірити надійність її кріплення у її відкритому положенні.

У разі необхідності зупинки та виведення з дії рульової машини для здійснення ремонту або планового огляду при знаходженні судна в відкритому морі до початку її розбирання судно необхідно обов'язково зупинити, машину роз'єднати, взяти сектор керма судна на стопор, здійснити перекриття клапанів на гідравлічних циліндрах, щоб машина в результаті удару хвилі об перо керма судна не могла отримати певний рух.

При виході з ладу суднової парової рульової машини потрібно закрити свіжий та відпрацьований пар, після чого обов'язково перейти на ручне керування. У разі електромеханічного приводу – роз'єднати муфту редуктора і після цього обов'язково перейти на ручне керування.

При використанні інсинератора слід обов'язково звертати особливу увагу на завантаження його твердими відходами з метою виявлення та обов'язкового вилучення вибухонебезпечних речовин або інших предметів. Шлак з камери згоряння очищується після охолодження.

					<i>KPM.142.6221м.25.22.05.ПЗ</i>	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При здійсненні очищення паливних та масляних фільтрів систем дизеля повинні бути вжиті усі необхідні заходи щодо запобігання потрапляння палива або масла на нагріті поверхні двигуна чи іншого обладнання. Обов'язково перш ніж приступити до розкриття фільтру заборотної води системи охолодження двигуна (на кінгстонній магістралі) для його очищення, необхідно ретельно переконатися у відсутності в ньому тиску води.

Обов'язково усередині кабіни будь-якого підйомного ліфта, а також на вході біля дверей його шахти, де відбувається посадка людей або розміщення будь-якого вантажу, мають бути вивішені відповідні інструкції з користування ним. Ліфт обов'язково повинен бути зупинений, у разі якщо з'явилися ознаки його ненормальної роботи. Наприклад чутні стуки, сторонні шуми, спостерігається нерівномірність руху, несправність затвору дверей, або наявні пошкодження огорожі шахти та ін.

При виході з ладу ліфта обов'язково всі двері його шахти мають бути закритими та повинна бути вивішена відповідна табличка з наступним написом: «ЛІФТ НЕ ПРАЦЮЄ». При огляді або здійсненні ремонту підйомного ліфта необхідно знеструмити його та обов'язково вивісити на електрощиті живлення наступну попереджувальну табличку з написом: «НЕ ВКЛЮЧАТИ! ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ».

Справність дії ліфтів повинна обов'язково перевірятися під час щомісячних ретельних оглядів. Відповідальність за технічний стан та можливі несправності всіх суднових ліфтів несе старший (головний) механік.

При обслуговуванні суднових ліфтів і здійсненні нагляду за ними суворо ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

- здійснювати пуск суднового ліфта шляхом безпосереднього дії на апарати, що подають напругу на електродвигун приводу;
- виводити з дії будь-які запобіжні та блокувальні пристрої ліфта;
- підключати до ланцюга керування судновим ліфтом будь-який електричний інструмент, лампи освітлення та інші різні електричні прилади (окрім вимірювальних приладів);

- підніматися або опускатися ліфтом, перебуваючи при цьому на даху кабіни самого ліфта;
- лазити по шахті ліфта без лісів або драбин, спускатися по його канатах;
- здійснювати пересування кабіни суднового ліфта, коли під нею знаходяться люди.

Очищення, огляд і змашування канатів суднового ліфта за відсутності ручного приводу мають здійснюватися виключно при нерухомій його кабіні. Огляд механізму суднового ліфта, що супроводжується додатковим розбиранням лебідки, може виконуватися лише після встановлення спеціальної противаги на опору і надійного закріплення кабіни самого ліфта.

Спускання у нижню частину шахти суднового ліфта для здійснення огляду розташованого там обладнання може виконуватися тільки після перевірки справності дії усіх контактів дверей посадкової площадки ліфта, закріплення цих дверей у їх відкритому стані, встановлення кабіни ліфта на висоті близько 1,50 метра від рівня посадкової площадки, при зачиненому машинному приміщенні.

При управлінні судновим підйомним ліфтом з машинного приміщення (пересування кабіни ліфта після вимушеної зупинки, регульовальні його роботи та інші дії) необхідно обов'язково перевірити, чи закриті двері шахти ліфту, обов'язково виключити можливість відкриття його дверей при зупинці кабіни ліфту на посадкових майданчиках та обов'язково відключити всі інші апарати його управління.

У процесі експлуатації усіх допоміжних суднових механізмів та пристроїв суворо забороняється:

- вводити в роботи будь-які механізми та пристрої при наявності у них несправностей, при значно збільшених зазорах в сполучених деталях, що перевищують допустимі рекомендовані виробником значення;
- використовувати прилади, обладнання та засоби не за призначенням (крім можливих аварійних випадків);
- проводити на ходу (при роботі) вимірювання зазорів, обтиск та затягування деталей та ін.;

					<i>KPM.142.6221м.25.22.05.ПЗ</i>	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– наносити навіть досить легкі удари по будь-яких трубопроводах, запірній арматурі та резервуарах, що знаходяться під тиском.

Ремонтні та обслуговуючі роботи з насосами всіх типів мають проводитися після відключення електроживлення на ГРК, перекриття підвідних трубопроводів, по яких поступає і виходить робоче середовище.

5.2. Аналіз шкідливої дії шуму на навколишнє середовище та організм людини

Шум від двигунів внутрішнього згоряння будь якого призначення (суднові, транспортні або стаціонарні) має істотний негативний вплив як на людину, так і на навколишнє середовище.

Шум від двигунів внутрішнього згоряння має наступні фактори впливу на людину:

1. Фізіологічний вплив:

– втрата слуху людиною: досить тривале перебування людини поруч із гучними двигуном внутрішнього згоряння (наприклад, у приміщенні машинного відділення поблизу жвавих автомобільних доріг, автомайстерень, аеропортів тощо) може спричиняти досить стійке зниження слуху;

– виникнення підвищеного кров'яного тиску і тахікардія: надмірний шум активізує симпатичну нервову систему, що призводить до значно прискореного серцебиття у людини і підвищення артеріального кров'яного тиску;

– значні розлади сну: навіть у закритих приміщеннях (каютах) шум з машинного відділення може дуже заважати глибокому сну та викликати безсоння у людини;

– часті головні болі та хронічна перевтома: тривалий вплив шуму призводить до перевтоми людини та зниження у неї концентрації, реагування та працездатності.

2. Психологічний вплив шуму на людину:

– надмірна дратівливість та всебічна агресія;

					<i>KPM.142.6221м.25.22.05.ПЗ</i>	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– значне зниження працездатності та уваги (особливо це важливо для людей зайнятих спостереженнями, керуванням установками і т.д.)

– значно підвищений рівень стресу та тривожності.

Вплив шуму на навколишнє середовище проявляється у наступному:

1. Порушення природної екосистем:

– шум у значній мірі порушує поведінку тварин: вони втрачають орієнтацію, змінюють маршрути своєї міграції, залишають свої звичні місця проживання;

– погіршується здатність тварин до пошуку їжі та спарювання (особливо у птахів і морських ссавців);

– деякі види можуть зовсім зникати з галасливих районів (наприклад, міських парків біля трас).

2. Шумове забруднення навколишнього середовища людей та тварин:

– постійний фоновий шум від головного суднового двигуна, допоміжного обладнання у машинному відділенні судна – це форма антропогенного забруднення, яка значно погіршує якість праці обслуговуючого персоналу судна, знижує цінність житлових і природних територій, а також вимагає додаткових витрат на шумоізоляцію приміщень.

Відповідно до цього оцінка рівня шуму та вібрації у приміщенні машинного відділення від головного дизельного двигуна Wärtsilä 10RT-flex-96C виробництва відомого виробника суднових двигунів Wärtsilä є вкрай необхідною.

Результати виконаних розрахунків рівня шуму та вібрації від головного дизельного двигуна Wärtsilä 10RT-flex-96C виробництва Wärtsilä наведено нижче у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунки рівня шуму та вібрації від головного дизельного двигуна Wärtsilä 10RT-flex-96C виробництва Wärtsilä

№ з/п	Найменування / Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
1	Кількість циліндрів, i	–	10
2	Діаметр циліндра, D м	–	0,96
3	Хід поршня, S м	–	2,5
4	Номінальна частота обертання колінчастого валу,	–	102

	$n_n \text{ хв}^{-1}$		
5	Робоча частота обертання колінчастого валу, $n \text{ хв}^{-1}$	—	102
6	Номінальна ефективна потужність, $N_e \text{ кВт}$	—	57200
7	Вага дизеля, $m \text{ кг}$	—	1760000
8	Рівень шуму	$L = \left[54 + 10 \cdot \lg(n_n + Ne^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right]$	81,12
9	Рівень вібрації	$L = 44 + 10 \lg \left(\frac{n_n \cdot Ne^{0,55} \cdot \left(\frac{1+Ne}{m}\right)}{1 + \left(\frac{1}{1500}\right)^3 \cdot \frac{m}{Ne}} + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right)$	75,37

Рівень шуму (рис. 5.1) та вібрації від головного дизельного двигуна Wärtsilä 10RT-flex-96C виробництва Wärtsilä, відповідно до отриманих результатів розрахунку, вкладається у встановлені нормативні межі.

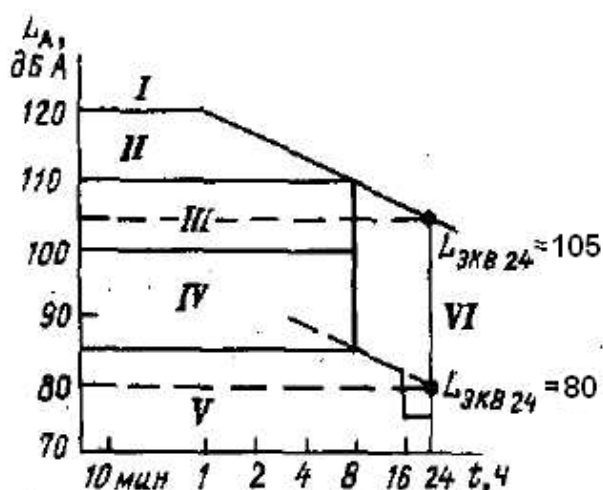


Рисунок 5.1 – Зони та відповідні ним норми припустимого шуму

Зниження шуму від головних суднових двигунів внутрішнього згоряння вимагає комплексного підходу. Одним із ефективних заходів є розробка та впровадження сучасних технологій в глобальній індустрії двигунобудування суднових двигунів, орієнтуючись на значне зменшення шумових характеристик двигунів та їх компонентів, зокрема агрегатів наддуву. Це включає в себе розробку новітніх конструктивних рішень у дизелях, покращення шумоізоляції, а також використання ефективніших шумопоглинаючих матеріалів.

Крім того, необхідно вдосконалити умови праці в машинних відділеннях суден, зокрема, застосовувати звукоізоляцію окремих частин енергетичних установок з МОД, встановлювати шумопоглинаючі екрани біля дизельних двигунів і використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму. Ці заходи допоможуть знизити рівень шумового забруднення як для персоналу судна, так і для навколишнього середовища в цілому.

5.3. Висновки до розділу

У розділі розроблено вимоги з охорони праці при підготовці та проведенні робіт з технічного обслуговування та ремонту головних судових двигунів та допоміжного обладнання. Здійснено аналіз шкідливої дії шуму на навколишнє середовище та організм людини. Встановлено, що рівень вібрації та шуму від головного дизельного двигуна Wärtsilä 10RT-flex-96C виробництва Wärtsilä не перевищує встановлених норм.

					<i>KPM.142.6221м.25.22.05.ПЗ</i>	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК ПО РОБОТІ

Кваліфікаційна робота на тему: *«Дослідження впливу параметрів налаштування паливної апаратури на ефективні показники суднового малообертового двигуна»* містить усі рекомендовані розділи та креслення.

У першому розділі розглянуто основні параметри та особливості конструкції малообертових дизелів серії RT-flex-96C фірми Wärtsilä.

У другому розділі представлена загальна характеристика застосованої у кваліфікаційній роботі математичної моделі робочого циклу, яка базується на вирішенні системи диференціальних рівнянь на базі квазістаціонарного (феноменологічного) підходу. Виконано розрахунок робочого циклу та динаміки номінального режиму роботи.

У третьому розділі виконано аналіз основних параметрів паливних систем дизелів, що впливають на процес паливоподачі. Виконано дослідження та оптимізація роботи паливної апаратури суднового двигуна типу 10ДКРН 96/250 за такими параметрами, як кут випередження впорскування $\varphi_{\text{вип.}}$ та загальна тривалість процесу впорскування $\varphi_{\text{впор.}}$. Встановлено оптимальне співвідношення значення випередження впорскування $\varphi_{\text{вип.}} = 6,5^\circ$ до ВМТ та загальної тривалості процесу впорскування $\varphi_{\text{впор.}} = 29^\circ$ п.к.в. За таких умов налаштування паливної апаратури було досягнуто зниження питомої ефективної витрати палива на 1,8 г/(кВт·год).

У четвертому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування реалізації проекту з оптимізації та модернізації паливної системи. Встановлено, що річна економія складатиме 7984066,14 грн, а капітальні матеріальні затрати на проведення робіт з налаштування та внесення змін в паливну систему дизеля окупляться вже за 1,40 місяця.

У п'ятому розділі розроблено вимоги з охорони праці при підготовці та проведенні робіт з технічного обслуговування та ремонту головних суднових двигунів та допоміжного обладнання. Виконано аналіз шкідливої дії шуму на навколишнє середовище та організм людини.

					КРМ.142.6221м.25.22.00.ПЗ	Лист
						64
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
2. Наливайко В.С. Конструктивні вузли та системи судових двигунів внутрішнього згоряння : навчальний посібник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський. – Миколаїв : Нук, 2013. – 100 с.
3. 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.
4. 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.
5. Heywood John B. Internal Combustion Engine Fundamentals / John B. Heywood. - New York.: McGraw Hill New York, 1988. – 930 –. – ISBN 0-07-100499-8
6. Mollenhauer, K. Hanbbook of diesel engines / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. –634 p.
7. 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.
8. Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.
9. ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація».
10. Realizing Future Trends in Diesel Engine Development / B. Georgi, S. H?Hunkert, J. Liang, M. Willmann // SAE Papers. – 1997. – 972686. – P. 2133–2145.

					<i>КРМ.142.6221м.25.22.00.ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

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.25.22.00.ПЗ</i>	Лист
						66
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		