

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»
В.о. завідувача кафедри
Гогоренко О. А.

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
РОЗРАХУНОК ДОПОМІЖНОГО СУДНОВОГО ДВИГУНА
ТИПУ 8ЧН 20/28 (Wartsila8L20DF)

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

А. Ю. Проскурін

Здобувач освіти

В. А. Іовенко

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
О. А. Гогоренко
«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Іовенко Володимиру Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок допоміжного суднового двигуна типу 8ЧН 20/28
(Wartsila8L20DF)

2. Керівник роботи к.т.н., доц. Проскурін А. Ю.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “___” _____ 20__ року № _____

3. Строк подання здобувачем роботи _____

4. Вихідні дані до роботи Судновий двигун - Wartsila8L20DF, потужність двигуна
– 1480 кВт; частота обертання колінчатого валу – 1200 хв⁻¹; паливо – дизельне

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис конструкції двигуна 8ЧН 20/28; Розрахунок робочого циклу
двигуна 8ЧН 20/28; Розрахунок динамічних зусиль діючих у КШМ; Проєкт
відцентрового насосу системи охолодження; Розрахунок систем двигуна 8ЧН
20/28; Забезпечення вимог охорони праці

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Двигун 8ЧН 20/28; Індикаторна діаграма та діаграми динаміки; Відцентровий
насос системи охолодження; Схеми систем двигуна 8ЧН 20/28

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення 1 розділу		
2	Оформлення 2 розділу		
3	Оформлення 3 розділу		
4	Оформлення 4 розділу		
5	Оформлення 5 розділу		
6	Оформлення 6 розділу		

Здобувач освіти

Керівник роботи

_____	_____
(підпис)	/В. А. Іовенко/
	(прізвище та ініціали)
_____	_____
(підпис)	/А. Ю. Проскурін /
	(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі наведені результати розрахунку суднового двигуна внутрішнього згоряння, потужністю 1480 кВт та 1200 хв⁻¹. В якості базового був обраний двигун 8CH 20/28 (Wartsila 8L20DF).

В роботі виконані розрахунки робочого циклу двигуна, динамічних навантажень, а також спроектований відцентровий насос системи охолодження. Розраховані основні системи двигуна та їх елементи. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 64 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 10 джерел. Графічна частина представлена на 4 кресленнях формату А4.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, паливо, відцентровий насос, система охолодження.

The qualification work presents the results of calculating a marine internal combustion engine with a power of 1480 kW and 1200 min⁻¹. The 8CH 20/28 engine (Wartsila8L20DF) was chosen as the base engine.

The calculations of engine operating cycle, dynamic loads and cooling system centrifugal pump have been performed. The main engine systems and their elements have been calculated. Measures to ensure occupational safety and health are given.

The qualification work is executed in Ukrainian language on 64 pages of explanatory note. Nine sources are used. The graphic part is presented on 4 drawings of format A4.

Key words: internal combustion engine, fuel, centrifugal pump, cooling system.

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1. Опис конструкції двигуна 8ЧН 20/28.....	7
Розділ 2. Розрахунок робочого циклу двигуна 8ЧН 20/28.....	12
2.1 Методика розрахунку робочого циклу двигуна.....	12
2.2 Обґрунтування вибору основних параметрів робочого циклу двигуна...	13
2.3 Розрахунок робочого циклу двигуна.....	15
Розділ 3. Розрахунок динамічних зусиль діючих у КШМ.....	22
Розділ 4. Проект відцентрового насосу системи охолодження.....	34
Розділ 5. Розрахунок систем двигуна типу 8ЧН 20/28.....	41
5.1 Паливна система.....	41
5.2 Система змащення.....	44
5.3 Система охолодження.....	49
5.4 Системи повітропостачання і газовідводу.....	51
Розділ 6. Забезпечення вимог охорони праці.....	55
Висновки.....	59
Список використаної літератури.....	60
Додаток А. Двигун 8ЧН 20/28.....	61
Додаток Б. Індикаторна діаграма та діаграми динаміки.....	62
Додаток В. Відцентровий насос системи охолодження.....	63
Додаток Г. Схеми систем двигуна 8ЧН 20/28.....	64

ВСТУП

Суднове світове дизелебудування бере свій початок на рубежі XIX і XX століть. Пройдений величезний шлях створення і розвитку суднових дизелів і агрегатів на їх базі. Багато країн взяли участь в цій історичному справі.

Сьогодні дизелі реально витіснили інші типи енергетичних суднових установок завдяки їх важливим перевагам:

- великому діапазону агрегатних потужностей;
- високою паливної економічності (до 154 г/кВт×год), яка визначається ефективним коефіцієнтом корисної дії;
- постійної готовності до дії, швидкому виведенню двигуна на експлуатаційний режим.

В останні 10-15 років суднове світове дизелебудування енергійно розвивалося, при цьому були повністю переглянуті тенденції його реформування і розвитку. Подолано як би «звуковий бар'єр» насамперед за величиною середнього ефективного тиску і, отже, по збільшенню циліндрових і агрегатних потужностей. Знайдено нові принципові ідеї підвищення паливної економічності (збільшення відношення ходу поршня до діаметру циліндра, підвищення тиску уприскування палива більш ніж до 100 МПа, ступеня стиснення, максимального тиску згоряння до 15 МПа і вище, поява нового покоління турбокомпресорів з ККД 70% і більше зі ступенем підвищення тиску повітря 5,0...6,0, використання силових турбін – турбокомпаундних систем, застосування мікропроцесорної техніки для управління початком упорскуванню палива і фазами газорозподілу, нові методи розрахунків та ін. [1].

Згідно із завданням до кваліфікаційної роботи необхідно розрахувати сучасний 4-тактний судновий середньообертовий дизельний двигун. В якості двигуна прототипу був обраний двигун 8ЧН 20/28 (Wartsila8L20DF).

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ІІЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ДВИГУНА 8ЧН 20/28

Wärtsilä 8L20DF – восьмициліндровий, рядний, чотиритактний, нереверсивний, з турбонаддувом, проміжним охолодженням, подвійною подачею палива в двигун, з прямим уприскуванням рідкого палива та непрямим уприскуванням газоподібного палива. Двигун може працювати у газовому режимі або у режимі дизель.

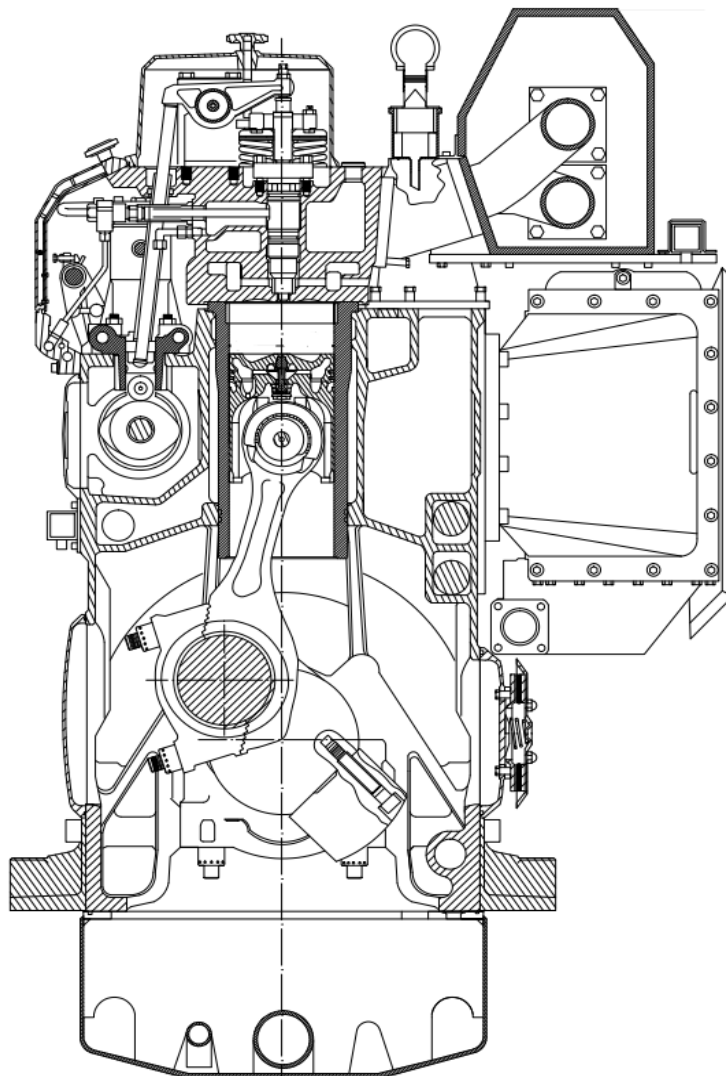


Рисунок 1.1 – Поперечний переріз двигуна Wärtsilä 8L20DF

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		7

Основні технічні характеристики:

Діаметр циліндра: 200 мм .

Хід поршня: 280 мм .

Робочий об'єм : 8,8 л/циліндр .

Число клапанів: 2 впускних та 2 випускних клапани.

Конфігурація циліндрів: Рядний 8 – циліндровий

Частота обертання двигуна: 1200 об/хв

Блок двигуна являє собою цільний литий компонент із кульового чавуну. Він має жорстку та довговічну конструкцію для сприйняття внутрішніх зусиль та забезпечення монтажу двигуна на амортизаторах без проміжного фундаменту.

Двигун обладнаний підвісним коленвалом, який утримується в корпусах рамових підшипників. Корпуси рамових підшипників із кульового чавуну встановлюються в блок знизу на двох. шпильках з гідравлічною затяжкою. Вони фіксуються в блоці в поздовжньому напрямку зверху та знизу. Горизонтальні бічні гвинти з гідравлічною затяжкою в нижніх напрямних забезпечують дуже жорстку конструкцію рамових підшипників.

Колінчастий вал (рис. 1.2)

Основним критерієм проектування колінвалу є надійність, що забезпечується дуже низьким навантаженням на підшипники. Висока осьова та крутильна жорсткість досягається помірним ставленням діаметра циліндра до ходу поршня.

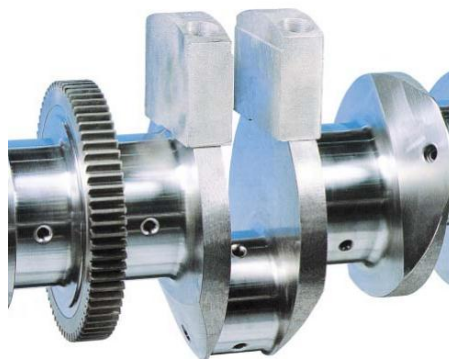


Рисунок 1.2 – Колінчастий вал

					<i>КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

Колінвал задовольняє вимоги всіх класифікаційних товариств. Колінвал є цільнокованим компонентом, що підвішується знизу в блоці двигуна. Розмір шийок однаковий незалежно від числа циліндрів. Колінвал повністю збалансований за допомогою противаг на кожній шатунній шийці для протидії ексцентричним навантаженням на підшипники. В результаті на всіх підшипниках формується рівномірна та масляна плівка потрібної товщини. При необхідності колінвал обладнується демпфером крутильних коливань.

Шатун (рис. 1.3) має трикомпонентну конструкцію, що дозволяє зняти шатун без розбирання. мотильового підшипника.



Рисунок 1.3 – Шатун

Шатун виготовлений із кованої легованої сталі, з повністю обробленим корпусом. Нижня частина ділиться по горизонталі, що дозволяє витягувати поршень та шатун через циліндр. Усі шпильки шатуна мають гідравлічну затяжку. Підшипник поршневого пальця виготовлений з твердої алюмінієвої бронзи.

Поршень (рис. 1.4) зроблений із композитного матеріалу – спідниця із кульового чавуну, головка поршня із сталі. Спідниця поршня змащується примусово, що гарантує добре контрольовану витрату олії у втулці циліндра у всіх режимах роботи. Олія подається через шатун в охолодний простір поршня. Поршень охолоджується за принципом коктейльного шейкера.

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛІЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Поршнева втулка холоджується водою, вода розподіляється по верхній частині втулки за допомогою кілець розподілу води. Нижня частина сухої втулки. Для усунення ризику полірування втулка обладнана нагарознімним кільцем. Циліндрова кришка виконана з чавуну. Схильна до нагрівання поверхня ефективно охолоджується охолоджувальною водою, радіально. підводиться від периферії до центру циліндрової кришки.



Рисунок 1.4 – Поршень

У газовому режимі експлуатації основним паливом є газове паливо, що подається в двигун під низьким тиском. Займання газу відбувається шляхом упорскування невеликої кількості запального палива (MDF) Подача газового та запального палива проводиться соленоїдними клапанами із систем єдиної магістралі (common rail) з електронним керуванням.

Впускні газові клапани (по одному на циліндр) мають електронне керування; вони розкриваються для подачі кожен окремий циліндр правильної кількості газу. Впускні газові клапани керуються системою керування двигуна, що регулює частоту обертання та потужність двигуна. Клапани встановлені у впускних патрубках циліндрових кришок.

У дизельноу режимі експлуатації двигун працює лише на рідкому паливі. Застосовується дизельне або важке паливо, що подається традиційною

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

дизельною системою упорскування. При цьому завжди залишається в роботі система запального дизельного палива (MDF).

Блок циліндрів виготовлений з чавуну з кулястим графітом та відлитим монолітно. Він дуже міцний, сконструйований сумкою мінімальних концентрацій напруги та деформації. Частина системи ох-води включаючи збиральні труби води циліндрів так само, як і канавки мастила та ресивер наддувного повітря вбудовано у блок циліндрів.

Втулка циліндра (рис 1.5) виготовлена із спеціального, стійкого до зносу чавуну. Втулки мокрого типу. Верхня частина втулки ущільнюється до блоку металево, а нижня частина двома кільцями ущільнювачів. Щоб уникнути небезпеки лощення поверхні, втулка забезпечена нагарознімальним кільцем у верхній частині.



Рисунок 1.5 – Втулка циліндра

					<i>КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ДВИГУНА 8ЧН 20/28

Розрахунок номінального режиму роботи двигуна за методикою Гріневецького-Мазінга. Завдяки цьому методу ми можемо визначити реальні показники двигуна. Розрахунок виконаний у Mathcad, а індикаторні діаграми були виконані у Microsoft Excel.

2.1. Вихідні дані

Ефективна потужність, кВт	$N_e = 1480$
Частота обертання, хв^{-1}	$n = 1200$
Тиск навколишнього середовища, Мпа	$P_0 = 0.1013$
Температура навколишнього середовища, К	$T_0 = 293$
Тиск повітря за компресором, Мпа	$P_k = 0.38$
Коефіцієнт продування	$\phi_a = 1.1$
Коефіцієнт залишкових газів	$y_r = 0.03$
Коефіцієнт використання теплоти в точці z	$\epsilon_z = 0.9$
Коефіцієнт використання теплоти в точці b	$\epsilon_b = 0.95$
Ступінь стиснення	$\epsilon = 15$
Ступінь підвищення тиску при згорянні	$\lambda = 1.202$
Підігрів заряду від стінок цилиндру, К	$\Delta T_a = 15$
Частка ходу поршня, втрачена на газообмін	$\phi_n = 0$
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми	$\zeta = 1$
Механічний ККД двигуна	$\eta_m = 0.88$
Адіабатний ККД компресора турбокомпресора	$\eta_{k.ad} = 0.75$
Втрата тиску в охолоджувачі повітря, Мпа	$\Delta P_{ox} = 0,005$
ККД системи охолодження повітря	$\eta_0 = 0.75$
Температура надлишкових газів, К	$T_r = 750$
Масовий склад палива (кг/кг):	

					<i>КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ</i>	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$C = 0.875$$

$$H = 0.127$$

$$S = 0$$

$$O = 0.002$$

Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг

$$Q_H = 42700$$

Число циліндрів

$$i = 8$$

Діаметр циліндра, м

$$D_c = 0.2$$

Хід поршня, м

$$S_c = 0.28$$

Коефіцієнт тактності

$$z = 0.5$$

Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні

$$\alpha = 2,45$$

Показник адіабати для повітря

$$k_e = 1,4$$

Механічний ККД турбокомпресора

$$\eta_{t.m} = 0.96$$

Внутрішній ККД турбіни турбокомпресора

$$\eta_{t.ad} = 0.78$$

Коефіцієнт втрат тиску на впуски

$$\epsilon_a = 0.95$$

Відношення тиску перед турбиною к тиску за компресором

$$\psi_t = 0.87$$

2.2 Розрахунок робочого циклу

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Температура повітря за компресором	T_k	К	472.524
Температура повітря в ресивері	T_s	К	337.881
Температура заряду до кінця процесу наповнення	T_a	К	364.448
Тиск повітря перед двигуном	P_s	МПа	0.375
Тиск заряду до кінця процесу наповнення	P_a	МПа	0.356
Коефіцієнт наповнення	η_H		0.916
Середня мольна ізохорна теплоємність повітря	C'_u	кДж/(моль*К)	$19.26+0.0025*T$
Середня мольна ізохорна теплоємність чистих продуктів згоряння	C''_u	кДж/(моль*К)	$20.47+0.0036*T$

Теплоємність суміші повітря і залишкових газів на ході стиснення	b_c a_{vs}	кДж/(моль*К)	0.002515 19.276
Середній показник політропи стиснення	n_1		1.359
Тиск в кінці стиснення	P_c	МПа	14.144
Температура в кінці стиснення	T_c	К	964.664
Справжня кількість повітря для згорання кмоль	L	кг	1.096
Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	β_0		1.029
Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	β		1.0282
Частка палива, що згоріла в точці z	x_z		0.947
Коефіцієнт молекулярної змін в точці z	β_z		1.027
Середня мольна ізохорна теплоємність в точці z	ΔM m a_{vz} b_z	кДж/(моль*К)	0.0318 1.064 19.7999 0.00299
Середня мольна ізохорна теплоємність в точці b	a_{vb} b_b	кДж/(моль*К)	19.8282 0.003017
Максимальна температура згорання	T_z	К	1873.885
Максимальний тиск згорання	P_z	МПа	17.002
Ступінь попереднього розширення	ρ		1.659
Ступінь подальшого розширення	δ		9.04
Середній показник політропи розширення і температура в кінці процесу розширення	n_2 T_b	К К	1.272 1030.627
Тиск в кінці процесу розширення	P_b	МПа	1.034
Теоретичний середній індикаторний тиск	P'_i	МПа	2.391
Індикаторна питома витрата палива	b_i	кг / (кВт · год)	0.169

Дійсний середній індикаторний тиск	P_i	МПа	2.391
Індикаторний ККД	η_i		0.499
Тиск в кінці процесу розширення	P_b	МПа	2.104
Середній ефективний тиск	P_e	МПа	2.104
Ефективний ККД двигуна	η_e		0.439
Питома ефективна витрата палива	b_e	кг/(кВт · год)	0.1922
Ефективна потужність двигуна	N_e		1481.812
Порівняння заданої і отриманої ефективної потужності двигуна	ΔN	%	0.122
Витрата повітря через компресор	G	Дж/(кг·К)	2.743
Витрата газів через турбіну	G_t	кг / с	2.822
Тиск газу перед турбіною	P_T	МПа	0.331
Температура газу перед турбіною	T_t	К	807.823
Загальна кількість продуктів згоряння	M_s	к·моль	1.121
Універсальна газова стала для відпрацьованих газів	R_t	Дж/(кг·К)	287.399
Показник адіабати розширення газу в турбіні	k_t		1.373
Дійсна ступінь підвищення тиску в компресорі	P_k		3.765
Дійсне тиск наддуву	P_{kd}	МПа	0.3814
Порівнення заданого і отриманого тиску наддуву	ΔP_k	%	0.354

2.3 Розрахунок та побудова індикаторної діаграми

Розрахункову індикаторну діаграму будують по даним розрахунку робочого циклу. Згодом ця діаграма буде вихідними даними для динамічного розрахунку та розрахунку на міцність двигуна. Побудову діаграми виконано аналітичним способом, за допомогою програми Excel.

Ординати точок політропи стиснення та розширення обчислюють за наступними формулами:

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– для процесу стиснення:

$$p = \frac{p_c}{(V/V_c)^{n_1}};$$

– для процесу розширення:

$$p = \frac{p_z \cdot \rho^{n_2}}{(V/V_c)^{n_2}};$$

де $v/v_c = \varepsilon_x$ – відношення об'ємів, яке представляє собою поточне значення ступеня стиснення.

Для $T - V$ обчислюють за такими формулами:

– для процесу стиснення:

$$T = \frac{T_c}{(V/V_c)^{n_1-1}}$$

– для процесу розширення:

$$T = \frac{T_z * \rho^{n_2-1}}{(V/V_c)^{n_2-1}}$$

Для $T - S$ діаграми ентропія S обчислюється наступним чином:

$$S = C_{vm} + R * \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) - R * \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

Де C_{vm} – Питома ізохорна мольна теплоємність робочого тіла. В нашому випадку вона не є постійною, оскільки ця величина отримується з теплоємностей робочого тіла та температури кожної окремої точки роботи.

Для розрахунку та побудови індикаторної діаграми необхідно ввести наступні дані:

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Вхідні дані для побудови індикаторних діаграм

Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
Ступінь стиснення	ε	-	15
Показник політропи стиснення	n_1	-	1,359
Показник політропи розширення	n_2	-	1,272
Ступінь підвищення тиску при згорянні	λ	-	1,202
Ступінь попереднього розширення	ρ	-	1,659
Тиск в кінці наповнення	p_a	МПа	0,356
Температура повітря в кінці наповнення	T_a	К	364,448
Коефіцієнт молекулярної зміни	β_z	-	1,027
коефіцієнти газу в кінці стиснення	a_{vc}	-	19,276
	b_c	-	0,002511
коефіцієнти газу у точці z	a_{vz}	-	19,7999
	b_z	-	0,00299
коефіцієнти газу в точці b	a_{vb}	-	19,8282
Тиск навколишнього середовища	p_0	МПа	0,1013
Температура навколишнього середовища	T_0	К	273
Газова стала	R	кДж/(кмоль·К)	8,3144

Таблиця та індикаторна діаграма для спрощення побудови були зроблені в середовищі Excel. Результати розрахунків представлені в табл. 2.3 та на рис. 2.1 – 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків для побудови індикаторної діаграм (P-V, T-V, T-S)

V/V_c	p	T	$C_{vm},$ кДж/(кмоль·К)	$s,$ кДж/(кмоль·К)
1	16,96924	1158,129	23,26270463	0,820562
1	16,49395	1125,691	23,16571537	0,029155
1	16,01866	1093,253	23,06872611	-0,7759
1	15,54338	1060,815	22,97173685	-1,59552
1	15,06809	1028,377	22,87474759	-2,4307
1	14,5928	995,9392	22,77775833	-3,28253
1	14,11751	963,5014	22,68076907	-4,15221

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ІІЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1,285714	10,033	880,3786	21,48663062	-5,42275
1,571429	7,638245	819,1861	21,33297621	-5,46018
1,857143	6,086915	771,5017	21,21324067	-5,46654
2,142857	5,01116	732,868	21,11623158	-5,45547
2,428571	4,22733	700,6665	21,03537363	-5,43414
2,714286	3,634294	673,2401	20,96650593	-5,4066
3	3,172125	649,48	20,90684436	-5,37528
3,285714	2,803226	628,6114	20,85444317	-5,3417
3,571429	2,502913	610,0734	20,80789423	-5,30683
3,857143	2,254358	593,4484	20,76614885	-5,27131
4,142857	2,045726	578,4178	20,72840709	-5,23557
4,428571	1,868468	564,7337	20,69404625	-5,1999
4,714286	1,716271	552,1995	20,662573	-5,1645
5	1,584374	540,6573	20,63359058	-5,12951
5,285714	1,46913	529,9783	20,60677558	-5,095
5,571429	1,367696	520,0563	20,58186129	-5,06104
5,857143	1,27783	510,8026	20,55862541	-5,02767
6,142857	1,19774	502,1429	20,5368809	-4,99491
6,428571	1,125979	494,014	20,5164691	-4,96276
6,714286	1,061366	486,3617	20,49725432	-4,93123
7	1,002928	479,1397	20,47911973	-4,90032
7,285714	0,949857	472,3075	20,46196412	-4,87001
7,571429	0,901478	465,83	20,44569923	-4,84029
7,857143	0,857222	459,6765	20,43024775	-4,81116
8,142857	0,816606	453,8198	20,41554156	-4,78259
8,428571	0,779217	448,2359	20,4015204	-4,75457
8,714286	0,744703	442,9035	20,38813071	-4,72709
9	0,712759	437,8035	20,3753247	-4,70014
9,285714	0,68312	432,919	20,36305958	-4,67368
9,571429	0,655557	428,2345	20,35129689	-4,64772
9,857143	0,629869	423,7363	20,34000194	-4,62223
10,14286	0,605879	419,4119	20,32914336	-4,5972
10,42857	0,583432	415,25	20,31869271	-4,57261
10,71429	0,562391	411,2402	20,30862408	-4,54845
11	0,542632	407,3731	20,29891388	-4,52472
11,28571	0,524048	403,6402	20,28954052	-4,50138
11,57143	0,506542	400,0335	20,28048422	-4,47844
11,85714	0,490026	396,5459	20,27172682	-4,45588
12,14286	0,474423	393,1707	20,2632516	-4,43368
12,42857	0,459663	389,9017	20,25504314	-4,41184
12,71429	0,445682	386,7333	20,2470872	-4,39035
13	0,432423	383,6601	20,23937059	-4,36919
13,28571	0,419834	380,6774	20,23188108	-4,34836

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ІІЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

13,57143	0,407868	377,7807	20,22460731	-4,32784
13,85714	0,396482	374,9656	20,21753873	-4,30763
14,14286	0,385636	372,2284	20,21066549	-4,28771
14,42857	0,375296	369,5653	20,2039784	-4,26809
14,71429	0,365427	366,9729	20,19746889	-4,24875
15	0,356	364,448	20,92518848	-4,0695
16,2	0,491029	497,1305	21,32456275	2,545942
16,2	0,626057	629,813	21,72393702	7,843368
16,2	0,761086	762,4954	22,12331129	12,34404
16,2	0,896115	895,1779	22,52268556	16,31515
15	1,031143	1027,86	22,92205983	19,91148
14,73318	1,054955	1032,891	22,93720063	19,89324
14,46636	1,079767	1038,038	22,95269429	19,8749
14,19954	1,105641	1043,308	22,96855578	19,85649
13,93272	1,132644	1048,705	22,98480099	19,83799
13,6659	1,160848	1054,235	23,00144683	19,81942
13,39908	1,190331	1059,904	23,01851129	19,80079
13,13226	1,221179	1065,719	23,03601356	19,78208
12,86544	1,253484	1071,686	23,05397412	19,76332
12,59862	1,287349	1077,812	23,07241484	19,74451
12,3318	1,322883	1084,106	23,09135915	19,72566
12,06498	1,360208	1090,575	23,11083215	19,70677
11,79816	1,399456	1097,23	23,1308608	19,68785
11,53134	1,440774	1104,078	23,15147405	19,66893
11,26452	1,484323	1111,131	23,17270311	19,65
10,9977	1,530281	1118,399	23,19458163	19,63109
10,73088	1,578843	1125,896	23,21714596	19,61221
10,46406	1,630228	1133,633	23,24043549	19,59338
10,19724	1,684679	1141,626	23,26449292	19,57462
9,93042	1,742466	1149,889	23,28936469	19,55596
9,6636	1,803891	1158,439	23,31510137	19,53742
9,39678	1,869294	1167,295	23,3417582	19,51903
9,12996	1,939057	1176,477	23,36939565	19,50083
8,86314	2,013611	1186,007	23,39808007	19,48286
8,59632	2,093445	1195,908	23,42788448	19,46518
8,3295	2,179113	1206,209	23,45888948	19,44782
8,06268	2,271252	1216,938	23,49118426	19,43085
7,79586	2,370588	1228,129	23,52486793	19,41434
7,52904	2,47796	1239,818	23,5600509	19,39838
7,26222	2,59434	1252,045	23,59685671	19,38307
6,9954	2,720856	1264,859	23,63542411	19,3685
6,72858	2,858831	1278,309	23,67590959	19,35481
6,46176	3,009822	1292,455	23,71849049	19,34216

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

6,19494	3,175674	1307,365	23,76336878	19,33072
5,92812	3,358588	1323,115	23,81077566	19,32071
5,6613	3,561211	1339,793	23,86097747	19,31238
5,39448	3,786755	1357,503	23,91428285	19,30604
5,12766	4,039149	1376,363	23,97105209	19,30206
4,86084	4,323249	1396,515	24,03170894	19,3009
4,59402	4,645129	1418,125	24,09675609	19,30311
4,3272	5,01247	1441,394	24,16679549	19,30938
4,06038	5,435134	1466,563	24,24255564	19,32058
3,79356	5,925969	1493,93	24,32492867	19,33783
3,52674	6,502017	1523,861	24,41502192	19,36254
3,25992	7,186342	1556,821	24,51423111	19,39658
2,9931	8,010892	1593,404	24,62434696	19,44246
2,72628	9,021141	1634,39	24,74771503	19,50357
2,45946	10,28393	1680,825	24,88748378	19,58468
2,19264	11,90136	1734,155	25,04800575	19,69268
1,92582	14,03705	1796,451	25,23551896	19,83791
1,659	16,96924	1870,823	25,39366132	19,9148
1,549167	16,96924	1752,041	25,03850187	17,06849
1,439333	16,96924	1633,258	24,68334242	14,11675
1,3295	16,96924	1514,476	24,32818297	11,04177
1,219667	16,96924	1395,693	23,97302353	7,821196
1,109833	16,96924	1276,911	23,61786408	4,426506
1	16,96924	1158,129	23,26270463	0,820562

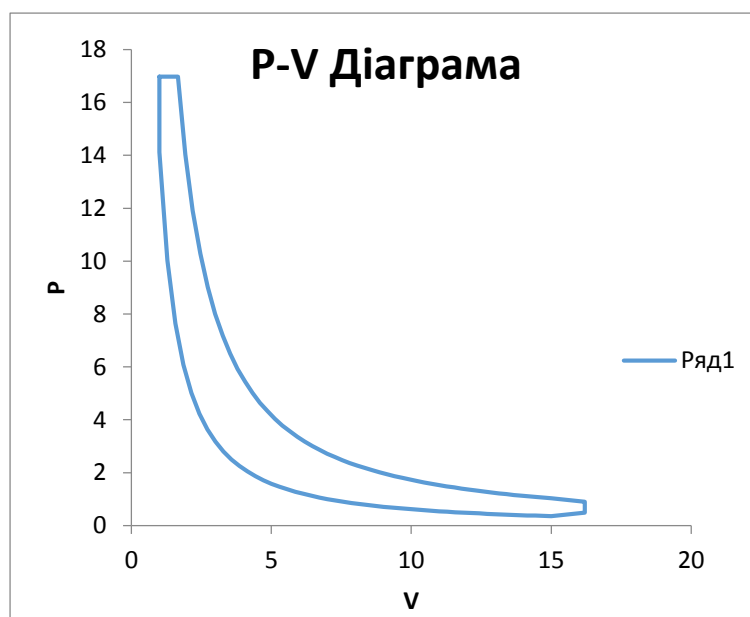


Рисунок 2.1 – Індикаторна діаграма в P-V координатах

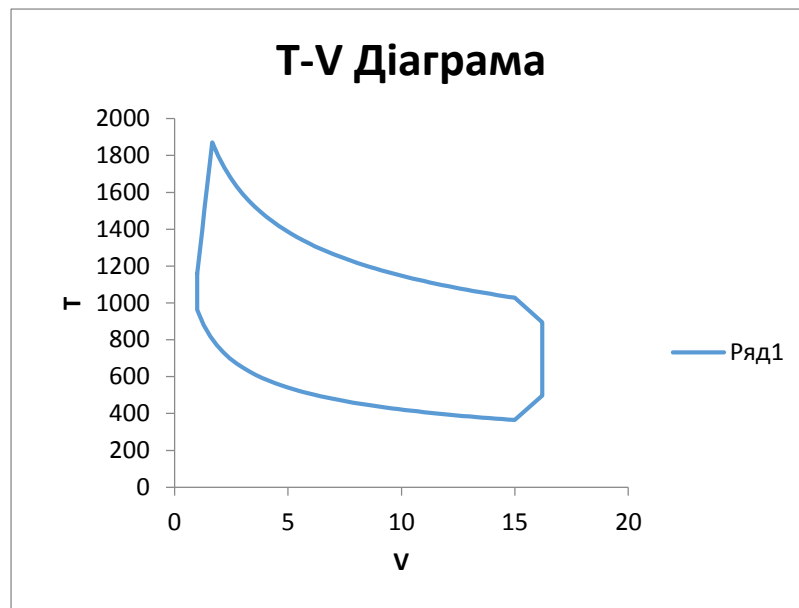


Рисунок 2.2 – Індикаторна діаграма в T-V діаграма

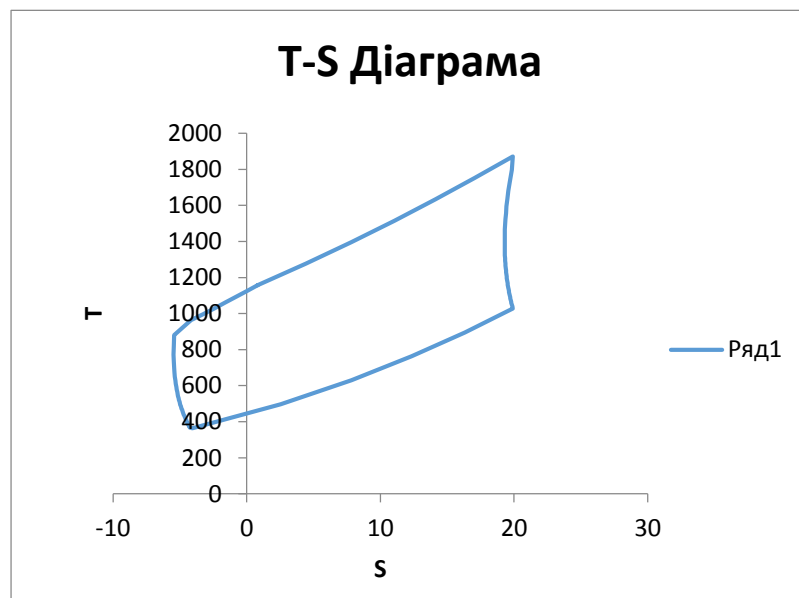


Рисунок 2.3 – Індикаторна діаграма в T-S діаграма

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ ДІЮЧИХ У КШМ

Діаграми динаміки будуються задля визначення сил у КШМ на будь-якому куті обертання колінчастого валу. Ці діаграми потім застосовують при розрахунках на міцність основних деталей КШМ, а також для розрахунків на врівноваженість. Діаграми будуються на підставі розрахунку робочого циклу та з урахуванням зміни дії визначених сил під час руху колінчастого валу. Сили, що діють у КШМ, поділяються на: P_g – силу від тиску газів на поршень, P_j – силу інерції мас, що рухаються поступово, P_{dv} – рушійна сила, N – нормальна сила, що притискує поршень до втулки, Q – силу, що тисне вздовж шатуна, T – дотична сила (сила, дотична до кривошипа), Z – радіальна сила, що діє вздовж кривошипу (див. рис. 3.1).

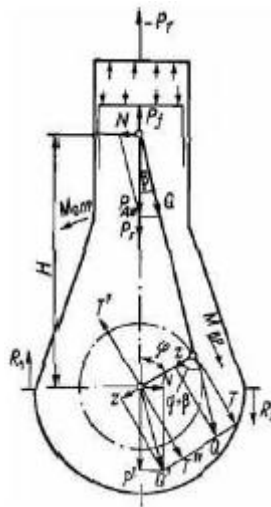


Рисунок 3.1 – Схема дії сил в КШМ

У таблиці 3.1. представлені необхідні параметри для динамічного розрахунку двигуна.

Розрахунок виконаний за допомогою програми Excel і представлений в таблиці 3.2, 3.3. За даними розрахунку будуються діаграми зображені на рис. 3.2 – 3.4.

					<i>КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		22

На рис. 3.2. P_r – сила тиску газів на поршень; P_j – сила інерції одного циліндра двигуна; P_{dv} – рушійна сила (вертикальна сила, що діє на центр поршневого пальця).

На рис. 3.3. N – нормальна сила, яка притискує поршень до втулки; Z – сила, що діє по осі кривошипа; T – дотична сила.

На рис. 3.4 T_E – сумарні дотичні сили, $T_{cp\ E}$ – середнє значення сумарних дотичних сил.

Таблиця 3.1 – Вхідні дані по розрахунку діючих зусиль

Діаметр поршня	м	D	0,2
Частота обертання КВ	хв ⁻¹	n	1200
Максимальний тиск згоряння	МПа	P _z	17,02
Тиск на початку стиску	МПа	P _a	0,3561
Тиск наддуву	МПа	P _k	0,38
Тиск залишкових газів	МПа	P _г	0,331
Кривошипно-шатунне відношення		λ	0,336
Маса деталей, що рухаються возвратно-поступово	кг	m	43,13
Радіус кривошипа	м	r	0,14
Ступінь стиснення		ε	15
Показник політропи стиснення		n ₁	1,359
Показник політропи розширення		n ₂	1,272
Ступінь попереднього розширення		ρ	1,659
Угловая скорость кривошипа	с	ω	125,6
Длина шатуна	м	L _ш	0,777
Приведена маса шатуна	кг	m _{гш}	39

Таблиця 3.2 – Результати динамічного розрахунку

φ rad	P _r	P _j	P _{dv}	N	Z	T	ν	j
0	0,3800	4,0529	-3,6729	0,0000	-3,6729	0,0000	0,00	2951
0,26	0,3800	3,8130	-3,4330	0,2993	-3,2385	-1,1776	6,03	2776

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ			Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				23

0,52	0,3800	-	-2,7568	-	-2,1537	-1,7833	11,35	2284
0,79	0,3800	-	-1,7651	-	-0,9459	-1,5503	15,39	1562
1,05	0,3800	-	-0,6272	-	-0,1509	-0,6370	17,79	733,2
1,31	0,3800	0,0976	0,4776	0,1607	-0,0316	0,5029	18,46	-71,04
1,57	0,3800	1,0193	1,3993	0,4887	-0,4887	1,3993	17,58	-742,1
1,83	0,3800	1,6679	2,0479	0,6890	-1,1956	1,7998	15,51	-1214
2,09	0,3800	2,0264	2,4064	0,7207	-1,8274	1,7237	12,67	-1475
2,36	0,3800	2,1451	2,5251	0,6115	-2,2179	1,3531	9,48	-1562
2,62	0,3800	2,1175	2,4975	0,4236	-2,3747	0,8819	6,23	-1542
2,88	0,3800	2,0475	2,4275	0,2116	-2,3996	0,4239	3,07	-1491
3,14	0,3561	2,0143	2,3704	0,0000	-2,3704	0,0000	0,00	-1466
3,4	0,3613	2,0475	2,4088	-	-2,3811	-0,4206	-3,07	-1491
3,67	0,3780	2,1175	2,4955	-	-2,3728	-0,8812	-6,23	-1542
3,93	0,4094	2,1451	2,5544	-	-2,2437	-1,3689	-9,48	-1562
4,19	0,4621	2,0264	2,4886	-	-1,8897	-1,7825	-12,67	-1475
4,45	0,5489	1,6679	2,2168	-	-1,2942	-1,9483	-15,51	-1214
4,71	0,6944	1,0193	1,7137	-	-0,5985	-1,7137	-17,58	-742,1
4,97	0,9502	0,0976	1,0477	-	-0,0693	-1,1033	-18,46	-71,04
5,24	1,4339	-	0,4268	-	0,1027	-0,4335	-17,79	733,2
5,5	2,4413	-	0,2963	-	0,1588	-0,2602	-15,39	1562
5,76	4,7430	-	1,6062	-	1,2548	-1,0390	-11,35	2284
6,02	9,7102	-	5,8973	-	5,5633	-2,0230	-6,03	2776
6,28	14,1215	-	10,0686	-	10,0686	0,0000	0,00	2951
6,54	17,0200	-	13,2070	-	12,4590	4,5304	6,03	2776
6,81	11,6710	-	8,5342	-	6,6672	5,5206	11,35	2284
7,07	6,2683	-	4,1232	-	2,2095	3,6216	15,39	1562
7,33	3,8093	-	2,8021	-	0,6743	2,8463	17,79	733,2
7,59	2,5915	0,0976	2,6891	0,9047	-0,1779	2,8316	18,46	-71,04
7,85	1,9325	1,0193	2,9517	1,0309	-1,0309	2,9517	17,58	-742,1
8,12	1,5508	1,6679	3,2186	1,0829	-1,8790	2,8287	15,51	-1214
8,38	1,3200	2,0264	3,3464	1,0022	-2,5412	2,3970	12,67	-1475
8,64	1,1784	2,1451	3,3234	0,8048	-2,9191	1,7809	9,48	-1562
8,9	1,0936	2,1175	3,2111	0,5446	-3,0532	1,1339	6,23	-1542
9,16	1,0484	2,0475	3,0959	0,2699	-3,0603	0,5406	3,07	-1491
9,42	1,0342	2,0143	3,0485	0,0000	-3,0485	0,0000	0,00	-1466
9,69	0,3310	2,0475	2,3785	-	-2,3511	-0,4153	-3,07	-1491
9,95	0,3310	2,1175	2,4485	-	-2,3281	-0,8646	-6,23	-1542

10,2	0,3310	2,1451	2,4761	-	0,5996	-2,1748	-1,3269	-9,48	-1562
10,5	0,3310	2,0264	2,3574	-	0,7060	-1,7901	-1,6886	-12,67	-1475
10,7	0,3310	1,6679	1,9989	-	0,6725	-1,1670	-1,7567	-15,51	-1214
11	0,3310	1,0193	1,3503	-	0,4716	-0,4716	-1,3503	-17,58	-742,1
11,3	0,3310	0,0976	0,4286	-	0,1442	-0,0284	-0,4513	-18,46	-71,04
11,5	0,3310	-	-0,6762	0,2025	-0,1627	0,6868	-17,79	733,2	
11,8	0,3310	-	2,1451	-1,8141	0,4393	-0,9721	1,5934	-15,39	1562
12	0,3310	-	3,1368	-2,8058	0,4759	-2,1920	1,8150	-11,35	2284
12,3	0,3310	-	3,8130	-3,4820	0,3036	-3,2847	1,1944	-6,03	2776
12,6	0,3310	-	4,0529	-3,7219	0,0000	-3,7219	0,0000	0,00	2951

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку сумарних дотичних сил

j°	T _Σ								T _Σ	T ^{cp} _Σ
	Номер циліндра									
	1	2	3	4	5	6	7	8		
0	0,000	2,108	0,000	-2,423	0,000	3,661	0,000	-2,059	1,29	3,28
15	-2,087	2,819	-0,669	-1,175	3,621	3,848	-0,664	-0,523	5,17	3,28
30	-3,195	2,733	-1,401	0,278	4,109	3,407	-1,385	1,398	5,94	3,28
45	-2,861	2,153	-2,168	1,050	2,311	2,580	-2,126	2,904	3,84	3,28
60	-1,349	1,402	-2,792	0,372	2,135	1,654	-2,698	3,226	1,95	3,28
75	0,574	0,673	-2,968	-1,113	2,903	0,789	-2,776	2,104	0,19	3,28
90	2,108	0,000	-2,423	0,000	3,661	0,000	-2,059	0,000	1,29	3,28

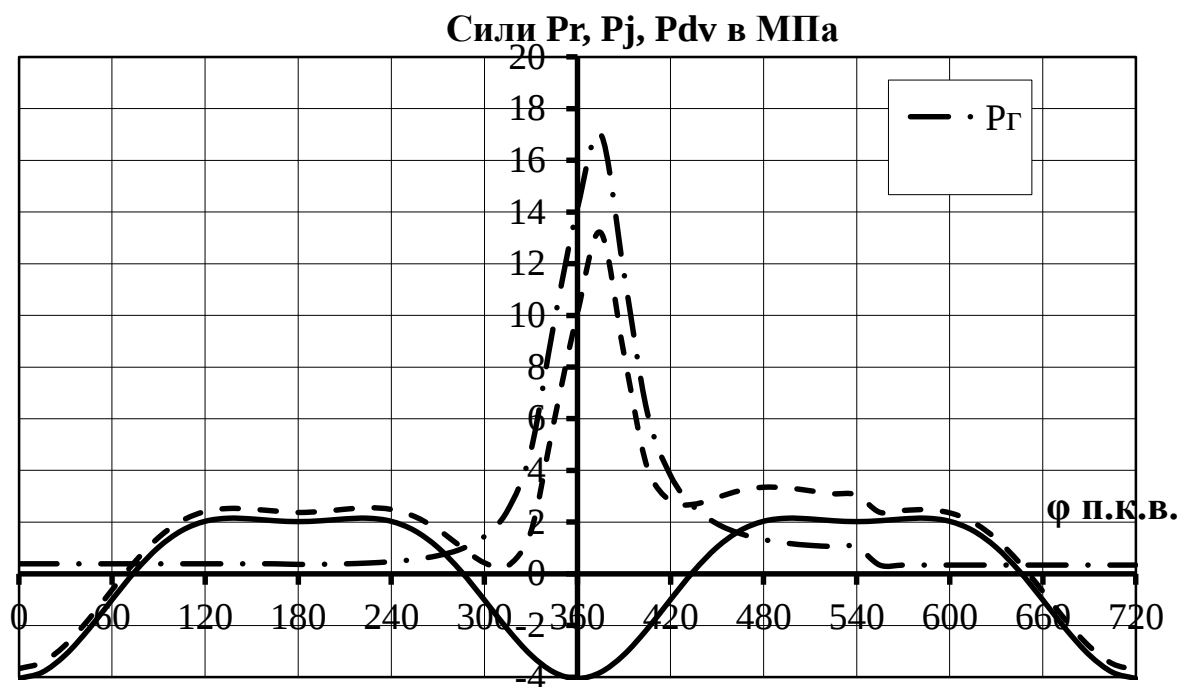


Рисунок 3.2 – Зміна сил P_r , P_j , P_{dv} від кута повороту колінчастого валу

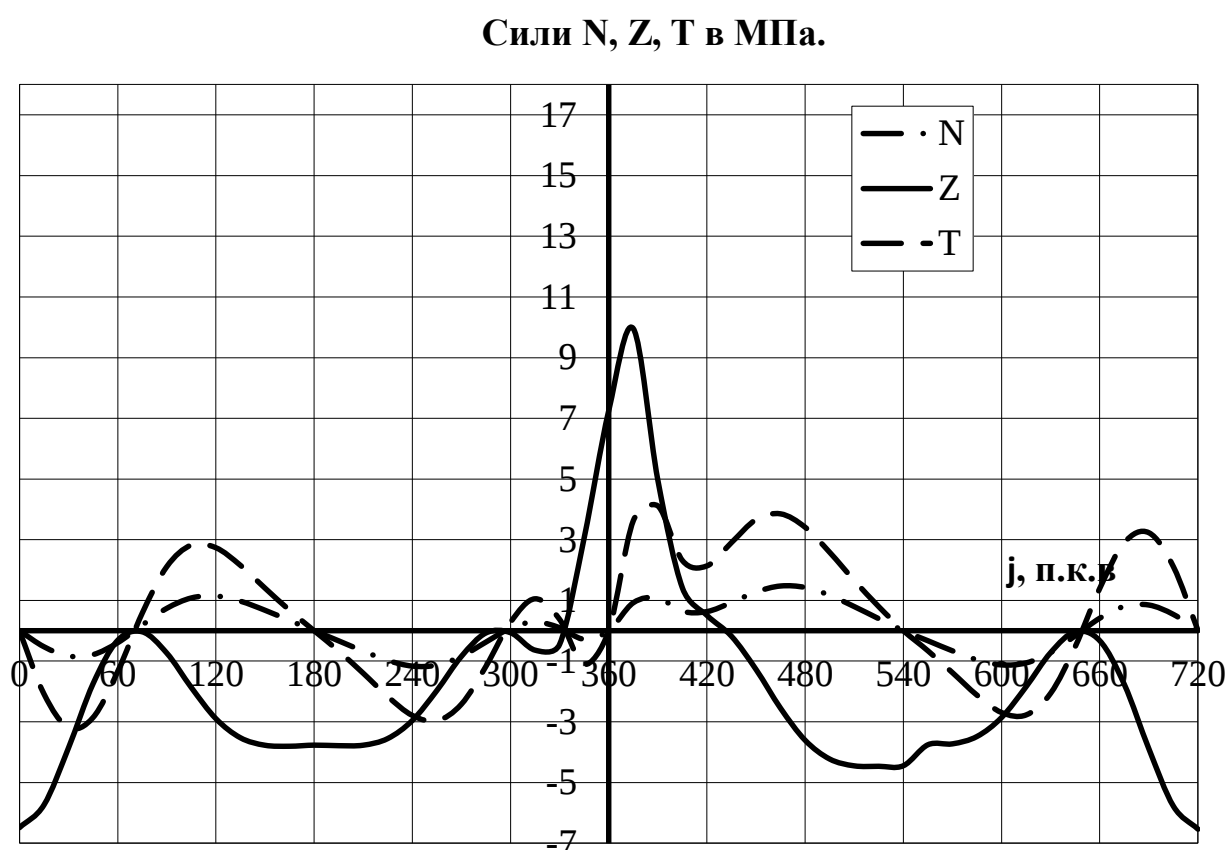


Рисунок 3.3 – Зміна сил N , Z , T від кута повороту колінчастого валу

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ

Аркуш

26

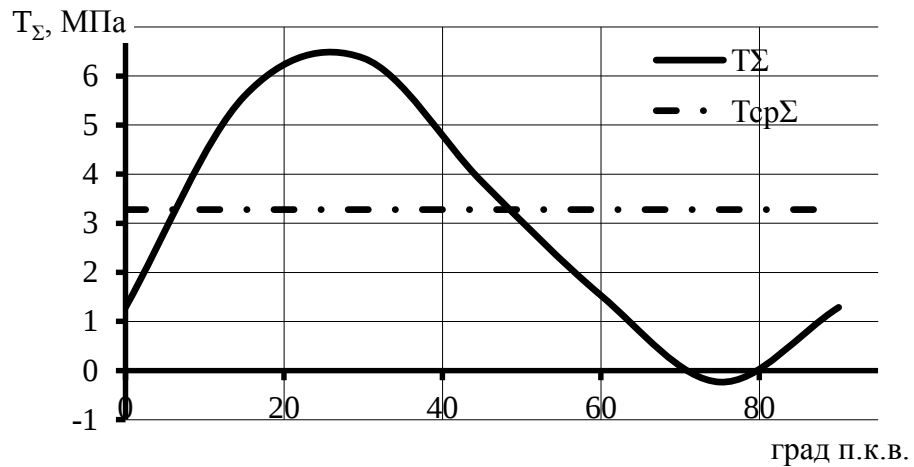


Рисунок 3.4 – Зміна сумарних дотичних сил T від кута заклинки колінчастого валу

Маючи данні з таблиці 3.2 ми можемо побудувати діаграми зміни швидкості поршня рисунок 3.5, прискорення поршня рисунок 3.6 та переміщення поршня рисунок 3.7

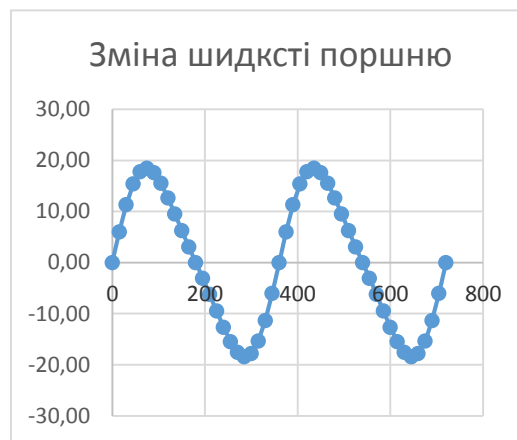


Рисунок 3.5 – Зміна швидкості поршня

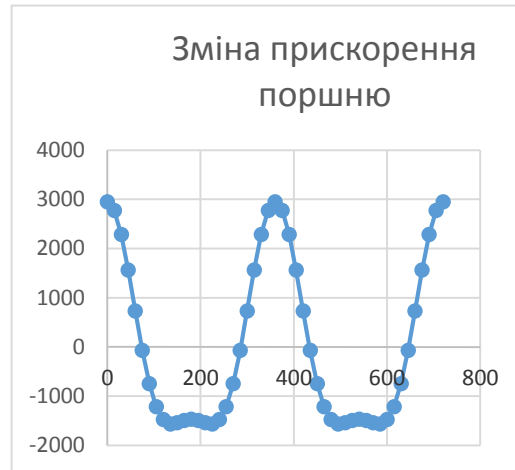


Рисунок 3.6 – Зміна прискорення поршня

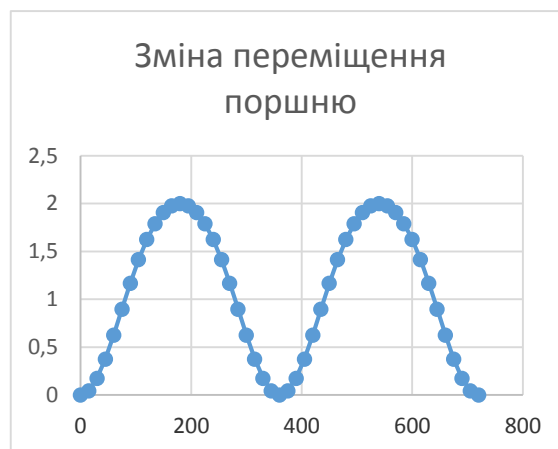


Рисунок 3.7 – Зміна переміщення поршня

Рушійна сила прикладена в центрі поршневого пальця і діє вздовж осп циліндра. Сила $P_{\text{дв}}$ розкладається на такі, що залишають: нормальну силу, яка діє перпендикулярно до осі циліндра і притискає поршень до втулки і силу,

$$N = P_{\text{дв}} \operatorname{tg} \beta$$

що діє по осі шатуна Q

$$Q = \frac{P_{\text{дв}}}{\cos \beta}$$

Силу Q переносимо за ліпниною її дії в центр шатунної шийки і розкладаємо на дві складові: радіальну силу, що діє по кривошипу,

$$Z = Q \cos(\varphi + \beta) = \frac{P_{\text{дв}} \cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}$$

і дотичну (тангенціальну) силу

Сили, що діють на КШМ, змінні за величиною і напрямком, тому для зручності аналізу їх представляють у вигляді графічних залежностей, що

$$T = Q \sin(\varphi + \beta) = \frac{P_{\text{дв}} \sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}$$

показують зміну сил за кутом повороту кривошипа. Ці результати записані у таблиці 3.4 – 3.5. Криві періодичні, з періодом 360° у двотактних двигунах і 720° у чотиритактних.

Крім сили Q враховується дія на шатунну шийку відцентрової сила інерції P_r , яка визначається залежністю:

$$P_r = m_r r \omega^2$$

Таблиця 3.4 – Результати зміни сили за кутом повороту кривошипа
перша частина

уг откл β	β+φ°	β+φ° рад	Pr	Z1	Qш Мпа	угол вектор а Qшш рад	Qшш град	уг пов Qшш град	уг пов Qшш рад	Z1	T
0,0000	0,0000	0	-1,8849	-1,8849	2950,62 4	1,57015 8	-89,9634	-89,9634	1,57015 8	-1,8849	2950,62 3
328,905 2	328,643 4	-5,73591	-1,8849	4,14323	2775,95 3	0,00149 3	0,08551 6	328,557 9	5,73441 8	1448,03 7	2368,35 4
221,060 4	220,536 8	3,84909 3	-1,8849	9,46543 6	2283,71 7	0,00414 5	0,23747 7	220,299 3	3,84494 8	1477,06 3	1741,73 7
100,004 3	-99,2189	1,73169 6	-1,8849	13,5029 8	1561,73 9	0,00864 6	0,49539 2	-98,7235	-1,72305	1543,67 3	236,863 4
-18,3057	-17,2585	0,30121 8	-1,8849	15,9016 3	733,411 1	0,02168 3	1,24236 9	-16,0161	0,27953 5	202,354 2	-704,943
-2,0678	-0,7588	0,01324 3	-1,8849	16,577	72,9475 9	0,22924 8	13,1349 4	-13,8937	0,24249 1	-17,5163	70,8133 5
-42,1868	-40,6160	0,70888 4	-1,8849	15,6991	742,239	0,02115 3	1,21195 4	-41,8280	0,73003 6	494,996 7	553,079 6
107,306 1	105,473 5	-1,84086	-1,8849	13,6228 8	1214,34 5	0,01121 9	0,64277 4	106,116 3	1,85207 8	1166,62 2	337,087 2
166,026 2	163,931 8	-2,86115	-1,8849	10,7849 5	1475,35 1	-0,00731	0,41884 1	164,350 7	-2,86846	397,974 4	1420,66 1
202,162 7	199,806 5	3,48728 2	-1,8849	7,59475 4	1561,69 9	0,00486 3	0,27863 8	200,085 2	3,49214 5	536,313 8	1466,72 2
216,301 2	213,683 2	3,72947 5	-1,8849	4,34876 4	1541,63	0,00282 1	0,16162 5	213,844 8	3,73229 6	858,603 3	-1280,4
218,144 8	215,265 0	3,75708 4	-1,8849	1,18911 8	1490,64 2	0,00079 8	0,04570 6	215,310 7	3,75788 1	861,607 1	1216,40 8
216,090 9	212,949 3	3,71666 7	-1,8849	-1,8849	1466,47 9	0,00128 5	0,07364 4	212,875 7	3,71538 2	796,031 1	0

- 217,086 8	- 213,683 4	- 3,72947 9	- -1,8849	- 4,95891 8	- 1490,65	- 0,00332 7	- 0,19060 5	- 213,492 8	- 3,72615 3	- 822,589 1	- 1243,13 5
- 216,190 9	- 212,525 7	- 3,70927 3	- -1,8849	- 8,11856 4	- 1541,64 6	- 0,00526 6	- 0,30173 1	- 212,224 0	- 3,70400 7	- -822,052	- 1304,18 6
- 203,640 4	- 199,713 4	- 3,48565 7	- -1,8849	- 11,3645 5	- 1561,72 2	- 0,00727 7	- 0,41694 1	- 199,296 5	- -3,47838	- 516,081 6	- 1473,98 7
- 169,600 2	- 165,411 4	- 2,88697 3	- -1,8849	- 14,5547 5	- 1475,38 3	- 0,00986 5	- 0,56523 6	- 164,846 1	- 2,87710 8	- 385,682 9	- 1424,08
- 112,957 4	- 108,506 8	- 1,89380 1	- -1,8849	- 17,3926 8	- 1214,39 3	- 0,01432 3	- 0,82062 5	- 107,686 2	- 1,87947 8	- 1156,99 5	- 368,936 3
- -48,4788	- -43,7664	- 0,76386 8	- -1,8849	- -19,4689	- 742,328 3	- 0,02623	- 1,50285 8	- -42,2636	- 0,73763 8	- 499,246 9	- 549,366 8
- -4,2292	- 0,7449	- 0,01300 2	- -1,8849	- -20,3468	- 73,8955 1	- 0,27894 9	- 15,9826	- 16,7276	- 0,29195 1	- 21,2686 8	- 70,7685 7
- -3,7746	- 1,4614	- 0,02550 6	- -1,8849	- 19,6714 3	- 733,502 6	- 0,02682 2	- -1,53677	- -0,0754	- 0,00131 6	- 0,96534 5	- 733,501 9
- -36,7148	- -31,2170	- 0,54483 9	- -1,8849	- 17,2727 8	- 1561,77 6	- -0,01106	- 0,63368 7	- -31,8507	- 0,55589 9	- 824,160 5	- 1326,61 4
- -25,7690	- -20,0095	- 0,34923 1	- -1,8849	- 13,2352 4	- 2283,73 6	- 0,00579 5	- 0,33205 6	- -20,3415	- 0,35502 6	- 793,861 2	- 2141,31 6
- 175,400 2	- 181,421 6	- 3,16640 4	- -1,8849	- -7,91303	- 2775,96 1	- 0,00285 1	- 0,16332 5	- 181,258 3	- 3,16355 4	- 60,9577 6	- 2775,29 2
- 415,367 3	- 421,650 5	- 7,35919	- -1,8849	- -1,8849	- 2950,62 4	- 0,00063 9	- 0,03660 1	- 421,613 9	- 7,35855 1	- 2595,85 3	- 0
- 570,497 0	- 577,042 0	- 10,0712 8	- -1,8849	- 4,14323	- 2775,95 3	- 0,00149 3	- 0,08551 6	- 577,127 5	- 10,0727 7	- 1675,53 9	- 2213,25 2
- 284,336 9	- 291,143 7	- 5,08141 6	- -1,8849	- 9,46543 6	- 2283,71 7	- 0,00414 5	- 0,23747 7	- 291,381 2	- 5,08556 1	- 2126,54 1	- 832,577 3
- 80,7850	- 87,8536	- 1,53333 5	- -1,8849	- 13,5029 8	- 1561,73 9	- 0,00864 6	- 0,49539 2	- 88,3490	- 1,54198 1	- 1561,09 1	- 44,9960 5
- 28,9758	- 36,3061	- 0,63366 2	- -1,8849	- 15,9016 3	- 733,411 1	- 0,02168 3	- 1,24236 9	- 37,5485	- 0,65534 5	- 446,964 9	- 581,476
- -10,4516	- -2,8594	- 0,04990 6	- -1,8849	- 16,577	- 72,9475 9	- 0,22924 8	- 13,1349 4	- -15,9944	- 0,27915 4	- 20,1001 8	- 70,1237 1
- -73,2516	- -65,3977	- 1,14140 4	- -1,8849	- 15,6991	- 742,239	- 0,02115 3	- 1,21195 4	- -66,6096	- 1,16255 7	- 681,242 7	- 294,664 4
- 146,467 3	- 138,351 5	- 2,41468 9	- -1,8849	- 13,6228 8	- 1214,34 5	- 0,01121 9	- 0,64277 4	- 138,994 3	- 2,42590 8	- 796,773 8	- 916,398 5
- 206,924 0	- 198,546 4	- 3,46528 9	- -1,8849	- 10,7849 5	- 1475,35 1	- -0,00731	- 0,41884 1	- 198,965 3	- 3,47259 9	- 479,481 6	- 1395,26 3
- 242,340 3	- 233,700 9	- -4,07885	- -1,8849	- 7,59475 4	- 1561,69 9	- 0,00486 3	- 0,27863 8	- 233,979 5	- 4,08371 3	- 1263,11 3	- 918,395 3
- 255,175 8	- 246,274 6	- 4,29830 2	- -1,8849	- 4,34876 4	- 1541,63	- 0,00282 1	- 0,16162 5	- 246,436 2	- 4,30112 3	- 1413,08 2	- 616,297 3
- 256,001 0	- 246,838 1	- 4,30813 7	- -1,8849	- 1,18911 8	- 1490,64 2	- 0,00079 8	- 0,04570 6	- 246,883 8	- 4,30893 5	- 1370,95 9	- 585,222 6
- 254,944 8	- 245,520 0	- 4,28513 2	- -1,8849	- -1,8849	- 1466,47 9	- 0,00128 5	- 0,07364 4	- 245,446 3	- 4,28384 7	- 1333,86 9	- 0
- 215,369 6	- 205,683 1	- 3,58984 7	- -1,8849	- 4,95891 8	- 1490,65	- 0,00332 7	- 0,19060 5	- 205,492 5	- -3,58652	- 641,564 5	- 1345,52 3
- 213,631 7	- 203,683 3	- 3,55494 5	- -1,8849	- 8,11856 4	- 1541,64 6	- 0,00526 6	- 0,30173 1	- 203,381 6	- 3,54967 9	- 611,807 2	- 1415,04 9

					<i>КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

199,696 8	189,486 6	3,30716 5	-1,8849	11,3645 5	1561,72 2	0,00727 7	0,41694 1	189,069 7	3,29988 9	-246,183	1542,19 7
163,894 3	153,422 3	2,67772 5	-1,8849	14,5547 5	1475,38 3	0,00986 5	0,56523 6	152,857 1	-2,66786	673,086 4	1312,90 2
105,667 1	-94,9333	1,65689 9	-1,8849	17,3926 8	1214,39 3	0,01432 3	0,82062 5	-94,1127	1,64257 6	1211,26 6	87,0940 3
-41,2063	-30,2108	0,52727 7	-1,8849	-19,4689	742,328 3	0,02623	1,50285 8	-28,7079	0,50104 8	356,573 3	651,081 2
-1,8820	9,3754	0,16363 1	-1,8849	-20,3468	73,8955 1	0,27894 9	15,9826	25,3580	0,44258	-31,6474	66,7756 6
-18,9813	-7,4621	0,13023 9	-1,8849	19,6714 3	733,502 6	0,02682 2	-1,53677	-8,9989	-0,15706	114,731 2	724,474 1
101,508 8	-89,7278	1,56604 5	-1,8849	17,2727 8	1561,77 6	-0,01106	0,63368 7	-90,3615	1,57710 5	1561,74 5	9,85302 5
223,253 7	211,210 9	3,68632 5	-1,8849	13,2352 4	2283,73 6	0,00579 5	0,33205 6	211,542 9	3,69212 1	1194,70 8	-1946,31
331,553 7	319,249 2	5,57194 9	-1,8849	-7,91303	2775,96 1	0,00285 1	0,16332 5	319,412 5	-5,5748	1806,06 5	2108,10 1
374,768 6	362,202 2	6,32162 1	-1,8849	-1,8849	2950,62 4	-1,57	-89,96	452,165 6	7,89177 8	111,497 6	0,00

За діаграмою зміни сумарного крутного моменту визначається величина максимальної надлишкової площі $f_{\text{изб.мах}}$, м², на ділянці φ_3 , м, вище лінії ТΣпор.

$$f_{\text{изб.мах}} = 0,5306 \text{ м}^2$$

Потім визначаємо найбільшу надмірну роботу, вона визначається за такою формулою

$$A_{\text{изб}} = f_{\text{изб.}} \mu$$

Де μ – масштаб площі сумарної діаграми моменту, що крутить, Нм/м².

Рахується він так:

$$\mu = \mu_{\varphi} \mu_M r \frac{\pi D^2}{4}$$

де r – Радіус кривошипа, м; D – діаметр циліндра, м; μ_{φ} – масштаб, визначальний скільки радіан міститься в абсцисі довжиною 1 м, рахується так; μ_M – масштаб, що показує, скільки паскаль (Н/м²) містить ордината довжиною 1 м.

$$\mu_{\varphi} = \frac{\pi \varphi_3}{180 l}$$

Де φ_3 – кут заклинки, рад; l – довжина абсциси

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ		Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			31

Порахуємо

$$\mu_{\Phi} = \frac{3.1415 \cdot \varphi_3}{180 \cdot 1} = \frac{3.1415 \cdot 1.5707963267948966}{180 \cdot 0.09} = 0.305$$

$$\mu := \mu_{\Phi} \cdot \mu_{\mathbf{M}} \cdot r \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0.305 \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 0.14 \cdot \frac{\pi \cdot 0.2^2}{4} = 805.0$$

$$A_{\text{изб}} := f_{\text{изб}} \cdot \mu \text{ explicit, ALL} \rightarrow 0.5306 \cdot 805.0 \text{ float, 6} \rightarrow 427.133$$

Задаючись значенням δ_n , можна приблизно знайти момент інерції маховика. Для цього спочатку визначаємо момент інерції всіх рухомих мас двигуна щодо осі валу за формулою:

$$\Theta = \frac{9 \cdot 10^5 \cdot A_{\text{изб}}}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot \delta_n} = \frac{9 \cdot 10^5 \cdot 427.133}{\pi^2 \cdot 1200^2 \cdot 0.398} = 67.961$$

Де δ_n - коливання кутової швидкості = 0.399

$$\Theta = \frac{9 \cdot 10^5 \cdot A_{\text{изб}}}{\pi^2 \cdot n^2 \cdot \delta_n} = \frac{9 \cdot 10^5 \cdot 83977.6}{\pi^2 \cdot 100^2 \cdot 0.859} = 891482.0$$

Маса маховика визначається за формулою

$$M_{\mathbf{M}} = \frac{4\Theta}{D_{\mathbf{M}}^2}$$

Для наближених розрахунків середні діаметр $D_{\mathbf{M}}$ обода маховика можна прийняти:

$$\left| \begin{aligned} D_{\mathbf{M}} &:= 2 \cdot S = 2 \cdot 0.28 = 0.56 \\ M_{\mathbf{M}} &= \frac{4 \cdot \Theta}{D_{\mathbf{M}}^2} = \frac{4 \cdot 67.961}{0.56^2} = 866.849 \end{aligned} \right|$$

За умовами міцності зовнішній діаметр маховика $D_{\mathbf{B}}$ має бути вибраний з урахуванням забезпечення допустимих окружних швидкостей. Окружна швидкість на зовнішньому обході маховика:

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$v_M = \frac{\pi \cdot D_{MB} \cdot n}{60}$$

Де D.мв – Зовнішній діаметр маховика, береться з мануалу, D.мв = 0,084 м

Порахуємо

$$v_M = \frac{\pi \cdot D_{MB} \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0.084 \cdot 1200}{60} = 5.278$$

Окружна швидкість для чавунних маховиків має бути менше 40...50 м/с, для сталевих - 60...70 м/с. Як можна визначити з розрахунку, в цього двигуна сталевий маховик.

					КРБ.142.2227ст.23.08.00.ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ

Проектування насосу виконується при заданих значеннях витрати Q (45 м³/год) та питомої роботи L (350 Дж/кг) на відміну від реальної постановки задачі, де такі параметри розраховуються.

Цілю проектування є розрахунок та побудова теоретичних профілів основних елементів проточної частини насосу, до яких належить колесо та спіральний відвідний канал. На підставі цих елементів виконано розріз насосу з дотриманням розмірів та особливостей конструкції.

Всі розміри насосу знаходилися через використання наданої кафедрою комп'ютерної програми розрахунку ступеня насосу, яка реалізована в середовищі Microsoft® Excel.

За результатами розрахунків побудуємо таблицю з таблицю 4.1 з порашованими даними.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку відцентрового насосу

Параметр	Формула	Значення
Коефіцієнту швидкохідності	n_s	100,742
Кутова швидкість обертання ротору насоса, м/с	$\omega = \frac{c\Delta l_{кр}^{\frac{3}{4}}}{298\sqrt{n_s^2}}$	376,8
Об'ємний ККД	$\eta_o = \frac{1}{1 + \frac{0,68}{\sqrt[3]{n_s^2}}}$	0,97
Гідравлічний ККД	$\eta_r = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2}$	0,814
Приведений (середньоквадратичний) діаметр на вході в колесо, м	$D_{1np} = k_{D1} \sqrt[3]{\frac{\pi Q_1}{30\omega}}$	0,0621

Коефіцієнт вхідного діаметру	$k_{D1} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{k_{c_o}}}$	4,1
Коефіцієнт, який залежить від С	$k_{co} = 1,13773E-14C^4 - 9,89853E-11C^3 + 2,93714E-07C^2 - 3,81115E-04C + 2,38791E-01$	0,076
Приведений діаметр на вході в колесо, перше наближення, м	$D_{1пр}^*$	0,0469
Коефіцієнт, який враховує тертя дисків колеса о воду	$\eta_{мвн} = \frac{1}{1 + \frac{820}{n_z^2}}$	0,926
Коефіцієнт, який враховує втрати в сальниках та підшипниках	$\eta_{сп} = 0,95 \dots 0,98$	0,95
ККД насоса	$\eta = \eta_r \eta_o \eta_m = \eta_r \eta_o \eta_{мвн} \eta_{сп}$	0,695
Діаметр вала ротора насосу, м	$d_B = \sqrt[3]{\frac{16M_K}{\pi[\tau]}}$	0,0142
Крутний момент на валу ротора насосу, Н·м	$M_K = \frac{N_B}{\omega}$	16,71
Потужність на привід вала ротора насосу, Вт	$N_B = \frac{\rho Q L}{\eta}$	6295
Діаметр маточини робочого колеса, м	$d_{ст} = (1,2 \dots 1,8) d_B$	0,017
Ширина колеса, м	$B_K = (0,2 \dots 0,4) D_2$	0,04
Швидкість рідини в кільцевому прийомному отворі робочого колеса, м/с	$c_o = k_{c_o} \left(\frac{30}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}} \sqrt[3]{Q_1 \omega^2}$	4,15
Діаметр входу в робоче колесо, м	$D_o = \sqrt{\frac{4Q_P}{\pi c_o} + d_{ст}^2}$	0,0652
Діаметр середини вхідної кромки лопаті робочого колеса, м	$D_1 = (0,9 \dots 1,0) D_o$	0,064
Приведений діаметр в другому наближенні, м	$D_{1пр}^{**} = \sqrt{0,5(d_{ст}^2 + D_1^2)}$	0,0469
Колова швидкість потоку рідини на діаметрі D_1 , м/с	$u_1 = \frac{\omega D_1}{2}$	12,06
	$c_1' = c_o$	4,15

Швидкість рідини в районі повороту протока в робочому колесі, м/с	$c_1' = c_{1m}'$	4,15
Коефіцієнт захаращення каналу колеса лопатями на вході	$k_1 = 1,1 \dots 1,25$	1,184
Меридіанна складова абсолютної швидкості потоку рідини на вході в робоче колесо, м/с	$c_{1m} = c_{1m}' k_1$	4,92
Кут безударного входу, град	$\beta_{10} = \arctg \frac{c_{1m}}{u_1}$	22,2
Кут установки лопаті на вході, град	$\beta_1 = \beta_{10} + \delta$	23
Кут атаки, град	$\delta = \beta_1 - \beta_{10}$	0,8
Відносна швидкості потоку рідини при вході на лопать робочого колеса, м/с	$w_{10} = \frac{c_{1m}}{\sin \beta_{10}};$	13,03
Відносна швидкості потоку рідини при вході на лопать робочого колеса, м/с	$w_1 = \frac{c_{1m}}{\sin \beta_1}$	12,6
Меридіанна складова абсолютної швидкості потоку рідини на виході з робочого колеса, м/с	$c_{2m} = (0,75 \dots 1,1) c_{1m}$	3,7
Для литих коліс з відносно великою товщиною	$k = 6,5 \dots 10$	6,5
Оптимальна кількість лопатей робочого колеса, шт	$z = k \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$	9,01
Приймаємо	$[z]$	12
Попереднє значення зовнішнього діаметру робочого колеса, м	$D_2^* = \frac{D_0}{0,002 n_s + 0,276}$	0,1367
Попереднє значення зовнішнього діаметру робочого колеса, друге наближення, м	D_2^{**}	0,1345

Питома робота колеса з нескінченним числом лопатей, Дж/кг	$L_{\infty} = (1 + p)L_{\tau}$	515,25
Теоретична питома робота колеса, Дж/кг	$L_{\tau} = \frac{L}{\eta_r}$	429,98
Зовнішній діаметр робочого колеса, м	$D_2 = \frac{2}{\omega} \left[\frac{c_{m2}}{2tg\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{c_{m2}}{2tg\beta_2} \right)^2 + L_{\infty}} \right]$	0,1344
Коефіцієнт захаращення каналу колеса лопатями на вході	$k_1 = \frac{1}{1 - \frac{z\Delta S_1}{\pi D_1}}$	1,184
Товщина лопаті на вході, м	$\Delta_1 = (0,001 \dots 0,004) \text{ м}$	0,001
Перетин лопаті на вході, нормальний до радіуса, м	$\Delta S_1 = \frac{\Delta_1}{\sin \beta_1}$	0,0026
Колова швидкість потоку рідини на діаметрі D_2 , м/с	$u_2 = \frac{\omega D_2}{2}$	25,33
Меридіанна складова абсолютної швидкості потоку рідини на виході з робочого колеса, м/с	$c'_{2m} = (0,8 \dots 1,1) \cdot c_{1m}$	3,96
Коефіцієнт захаращення каналу колеса лопатями	$k_2 = \frac{1}{1 - \frac{z\Delta S_2}{\pi D_2}}$	1,060
Товщина лопаті на виході, м	$\Delta_2 = (0,001 \dots 0,003) \text{ м}$	0,001
Перетин лопаті на виході, нормальний до радіуса, м	$\Delta S_2 = \frac{\Delta_2}{\sin \beta_2}$	0,0018
Проекція абсолютної швидкості потоку рідини на окружну на виході з робочого колеса при скінченному числі лопатей, м/с	$c_{2u} = \frac{L_{\tau}}{u_2};$	16,98
Швидкість потоку рідини на виході з робочого колеса, м/с	$c'_2 = \sqrt{(c'_{2m})^2 + c_{2u}^2}$	17,34
Проекція абсолютної швидкості потоку рідини на окружну на виході з робочого колеса при	$c_{2u\infty} = \frac{L_{\tau}(1 + p)}{u_2}$	20,35

нескінченному числі лопатей		
Відносна швидкість потоку рідини на виході з робочого колеса, м/с	$w_2 = \sqrt{c_{2m}^2 + (u_2 - c_{2u})^2}$	9,14
Дійсне співвідношення відносних швидкостей потоку рідини в робочому колесі	w_1/w_2	1,379
Оптимальне співвідношення відносних швидкостей	$w_1/w_2 = 3,166E-11ns^6 - 1,812E-08ns^5 + 4,228E-06ns^4 - 5,150E-04ns^3 + 3,464E-02ns^2 - 1,231E+00ns + 1,982E+01$	1,38
Відносна швидкість потоку рідини на виході з робочого колеса при нескінченній кількості лопатей	$w_{2\infty} = \frac{c_{2m}}{\sin\beta_2}$	6,3

Опис конструкції спроектованого насоса та оцінка його придатності для виконання за функцією призначення

Опис конструкції насоса робиться на основі спроектованого механізму з урахуванням особливостей наданого прототипу.

Даний насос можна класифікувати за наступними ознаками:

- за принципом підведення енергії потоку рідини – динамічний або лопатевий;
- по вигляду робочих органів і по особливості робочого процесу – відцентровий;
- по числу ступіней (послідовно включених коліс) – одноступінчатий;
- за призначенням – циркуляційний насос для системи побутового водопостачання – прісної побутової води;
- по роду приводу – автономний електронасос;
- по розташуванню колеса щодо опор – консольний.

Насос складається з системи рухомих (ротор в зборі) і нерухомих елементів (корпусні деталі).

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Корпус насоса є чавунним виливком, внутрішня порожнина якої має форму спіралі, що переходить в напірний патрубок.

Кришка корпусу відлита з чавуну як одне ціле із вхідним патрубком.

Робоче колесо чавунне насоса, складається з двох дисків, з'єднаних просторовими або циліндричними лопатками, закріплене на валу за допомогою шпонки і гайки.

Вал насоса сталевий, розташований у кронштейні, спирається на шарикопідшипники, які сприймають незначні зусилля, розташовується у горизонтальному положенні (перевіряється за рівнем). На кінці валу розташований сальник, що складається з корпусу, відлитого як одне ціле з корпусом насоса, кришки сальника та бавовняного набивання.

Затягування сальника має забезпечувати деякий (до 15-20 крапель на хвилину) пропуск рідини. Занадто туга затяжка призводить до підвищеного тертя та швидкого зносу сальника, а також до підвищеної витрати електроенергії. Вхід рідини в робоче осьове колесо.

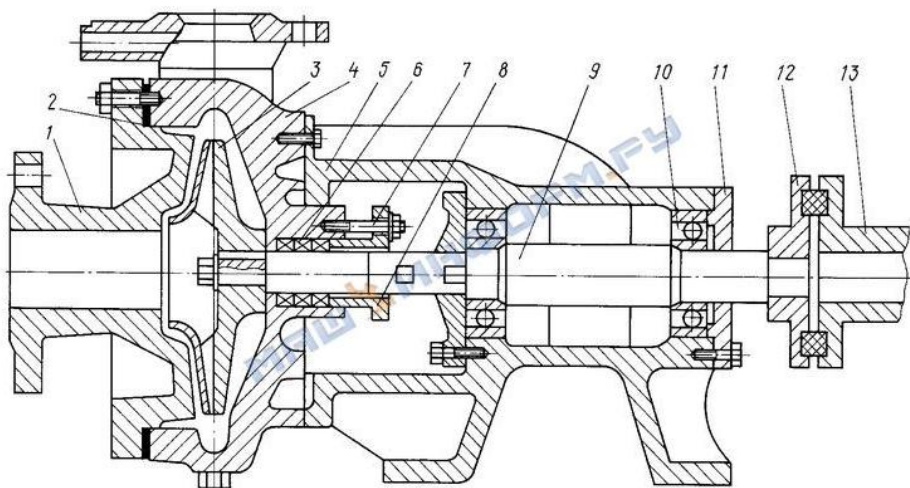


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд уніфікованого відцентрового насосу

1 – кришка сальникового корпусу; 2 – прокладка; 3 – робоче колесо; 4 – спіральний корпус; 5 – опорний кронштейн; 6 – сальникове набивання; 7 – шпилька М8; 8 – кришка сальника; 9 – вал; 10 - шарикопідшипник; 11 – кришка підшипника; 12 – пружна напівмуфта насоса; 13 – напівмуфта електродвигуна.

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39

У корпусі підшипників розміщуються два підшипники. Підшипник з боку колеса затиснений в корпусі і на валу насоса.

Підшипник з протилежного боку затиснений на валу, але може переміщатися уздовж вісі розточки корпусу для компенсації теплового подовження валу.

Підшипники змащуються рідким маслом, яке заливається через отвір у верхній частині корпусу підшипників. Для запобігання витіканню масла в кришках встановлені фетрові кільця. Для запобігання попаданню води в підшипники з боку колеса встановлений відбійник .

					<i>КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК СИСТЕМ ДВИГУНА ТИПУ 8ЧН 20/28

5.1 Паливна система

Wärtsilä 8L20DF - восьмициліндровий, рядний, чотиритактний, нерeverсивний, з турбонаддувом, проміжним охолодженням, подвійною подачею палива в двигун, з прямим упорскуванням рідкого палива та непрямим упорскуванням газоподібного палива. Двигун може працювати у газовому режимі або у режимі дизель.

Газовий режим експлуатації

У газовому режимі експлуатації основним паливом є газове паливо, що подається в двигун під низьким тиском. Займання газу відбувається шляхом упорскування невеликої кількості запального палива (MDF) Подача газового та запального палива проводиться соленоїдними клапанами із систем єдиної магістралі (common rail) з електронним керуванням.

Дизельний режим експлуатації

У дизельному режимі експлуатації двигун працює лише на рідкому паливі. Застосовується дизельне або важке паливо, що подається традиційною дизельною системою упорскування. При цьому завжди залишається в роботі система запального дизельного палива (MDF).

Резервний режим експлуатації

Система управління та захисту двигуна або система виявлення знеструмлення може деяких ситуаціях перевести двигун у резервний режим експлуатації. У цьому режимі система впорскування запального дизельного палива (MDF) не активна, і робота більш ніж у протягом 30 хвилин (на важкому паливі HFO) або 10 годин (на дизельному паливі MDF) може призвести до забивання запальних паливних форсунок. Навантаження двигуна має також підтримуватись на рівні нижче 40%.

Паливна система двигуна (Рисунок 5.1) складається з:

					<i>КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		41

01 ТНВД; 07 Форсунка запального палива; 02 Форсунка; 03 АПС рівня втечного палива від форсунки; 04 Перепускний клапан; 05 Палевний насос з приводом від двигуна; 06 Паливний фільтр; 07 Форсунка запального палива; 08 Насос запального палива; 09 Фракційний фільтр; 10 Демпфер пульсацій; 11 Запобіжний клапан запального палива.

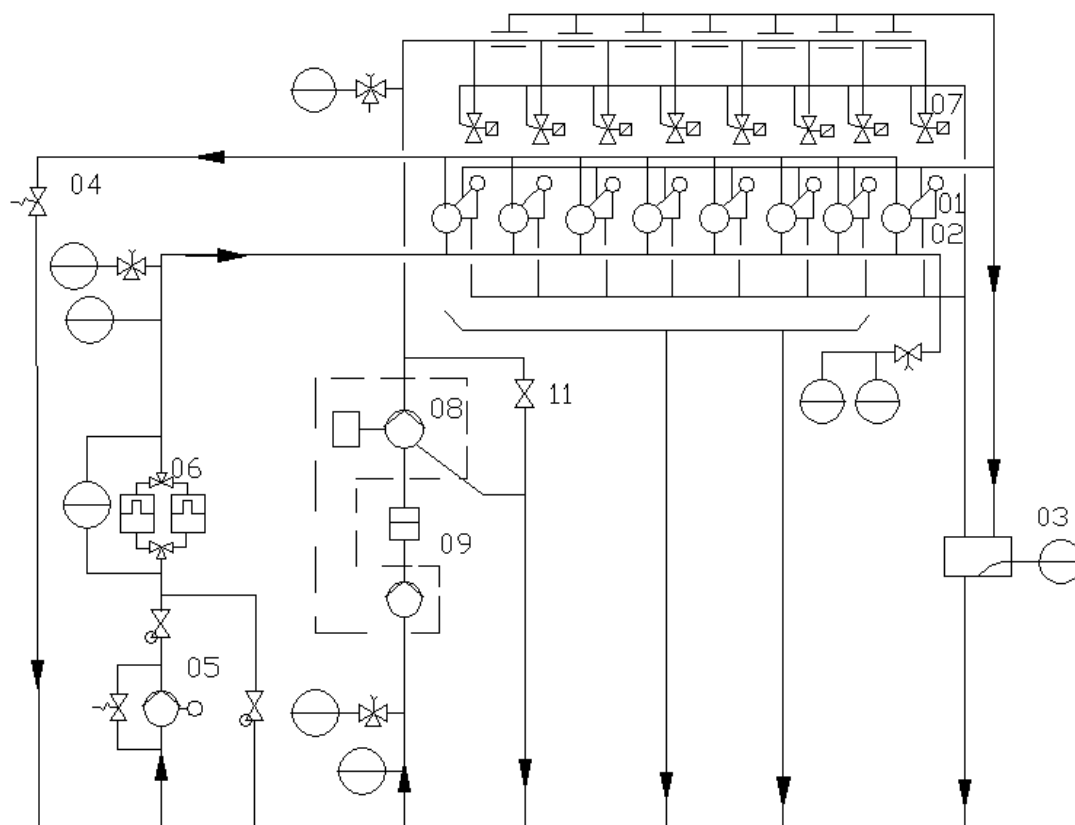


Рисунок 5.1 – Паливна система двигуна

Розрахункова частина паливної системи

Дано

$g_e := 192$

г/кВт*год

$N_e := 1480$

кВт

$n := 1200$

об/хв

$Z := 0.5$

$i := 8$

кількість циліндрів

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42

Запас палива, т
щільність палива

$$K_M := 1.1$$

$$\rho_{\text{ш}} := 860$$

$$K_1 := 1.02$$

$$\tau_{\text{ст}} := 48$$

$$K_2 := 1.03$$

$$G_{\text{лт}} = \left[K_M \times \left(g_e \times 10^{-3} \times N_e \times \tau_{\text{ст}} \right) \right] \times 10^{-3} = 1.1 \times 192 \times 10^{-3} \times 1480 \times 48 \times 10^{-3} = 15.0$$

т

$$V := \frac{G_{\text{лт}}}{\rho_{\text{ш}}} \times K_1 \times K_2 \times 10^3 = \frac{15.0}{860} \times 1.02 \times 1.03 \times 10^3 = 18.32$$

м³

Об'єм витратної цистерни, м³

$$V_{\text{вц}} := K_1 \times \left(\frac{4 \times g_e \times 10^{-3} \times N_e}{\rho_{\text{ш}}} \right) = 1.02 \times \frac{4 \times 192 \times 10^{-3} \times 1480}{860} = 1.348$$

м³

Продуктивність паливопідкачуючого насосу

$$K_w := 2$$

$$W_{\text{ппн}} = \frac{K_w \times \left(g_e \times 10^{-3} \right) \times N_e}{\rho_{\text{ш}}} = \frac{2 \times 192 \times 10^{-3} \times 1480}{860} = 0.6608$$

м³/год

Потужність приводу паливопідкачуючого насосу

$$\eta_H := 0.8$$

$$H := 30$$

$$N_{\text{ппн}} = \frac{0.272 \times W_{\text{ппн}} \times H \times \rho_{\text{ш}}}{\eta_H} \times 10^{-5} = \frac{0.272 \times 0.6608 \times 30 \times 860}{0.8} \times 10^{-5} = 0.05797$$

кВт

площа поверхонь фільтруючих елементів

$$k_{\text{ж.с}} := 0.3$$

$$v_m := 0.05$$

$$F_{\Phi} = \frac{W_{\text{ппн}}}{3600 \times v_m \times k_{\text{ж.с}}} = \frac{0.6608}{3600 \times 0.05 \times 0.3} = 0.01224$$

м²

пропускна здантість сепаратора

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$V_{\text{доб}} = \frac{g_e \times 10^{-3} \times N_e \times 24}{\rho_{\text{ш}}} = \frac{192 \times 10^{-3} \times 1480 \times 24}{860} = 7.93$$

м³/доб

$\tau_e := 22$

$n_e := 1$

$$W_{\text{сеп}} = \frac{V_{\text{доб}}}{\rho_{\text{ш}} \times 10^{-3} \times \tau_e \times n_e} = \frac{7.93}{860 \times 10^{-3} \times 22} = 0.4191$$

м³/год

Визначення параметрів плунжера

Циклова вагова подача палива, Г/цикл

$$g_{\text{ц}} = \frac{g_e \times N_e}{i \times 60 \times n \times Z} = \frac{192 \times 1480}{8 \times 60 \times 1200 \times 0.5} = 0.9867$$

$C_m := 3$

$\varphi_r := 20$

$\gamma_r := 0.88$

$\eta := 0.8$

$$h_r := \frac{C_m \times \varphi_r}{60 \times n} \times 10^2 = 0.083$$

$$d_{\text{п}} := 1.13 \sqrt{\frac{g_{\text{ц}}}{h_r \times \gamma_r \times \eta}} = 4.634$$

5.2 Система змащення

Система мастила двигуна, які беруть участь у зниженні тертя між сполученими деталями ДВЗ, мінімізують витрати потужності ДВЗ на тертя. Принцип роботи системи змащення двигуна полягає в забезпеченні подачі мастильних матеріалів (моторного масла) до всіх деталей ДВЗ, що труться, на всіх режимах його роботи. Між двома поверхнями тіл, що рухаються, формується масляна плівка. Вона розділяє рухомі поверхні і уберігає поверхні, що труться від додаткових навантажень.

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		44

Система мастила спрямована на підтримку безперервної подачі до підшипників мастильних матеріалів та безпосереднє вирішення наступних завдань:

Зменшення тертя між сполученими деталями. Причому компоненти системи спрямовані на зменшення всіх видів тертя - сухого - безпосереднього зіткнення деталей один з одним, рідинного - з поділом масла, напіврідинного (масляний шар присутній, але повного поділ поверхонь, що труться маслом немає). Сухе тертя у чистому вигляді на практиці – найрідкісніше. Його можна зустріти при деформації контактуючих тіл (наприклад, підшипників), при руйнуванні граничних плівок у місцях підвищеного тиску. Набагато ж найпоширеніша ситуація – напіврідинне та рідинне тертя. З рідинним тертям деталі, наприклад, часто зустрічаються при високих окружних швидкостях при попаданні олії в клиновий проміжок між цапфою і вкладишем підшипника ковзання.

Відведення тепла та охолодження деталей двигуна. Здійснюється потоком рідини із системи охолодження. Спочатку охолоджується олія, а потім уже самі деталі ДВЗ.

Звільнення двигуна від продуктів зношування механізмів у відпрацьованому маслі (у вигляді прямокутників, «листочків», пилу). Найбільш поширене втомне знос. Він виникає при терті кочення та терті ковзання. Також існує адгезійний, абразивний, корозійний знос.

Видалення нагару. Найчастіше нагар характерний для транспортних систем із прямим упорскуванням палива (паливо йде безпосередньо в камеру згоряння, відсутній етап промивання клапанів). Також проблема нагару актуальна у ситуаціях, якщо транспортний засіб використовується лише час від часу, є постійні простої, або при використанні авто в холодну пору року його власник не вдається до прогріву двигуна.

Складові системи:

масляні насоси (типи, конструкції);

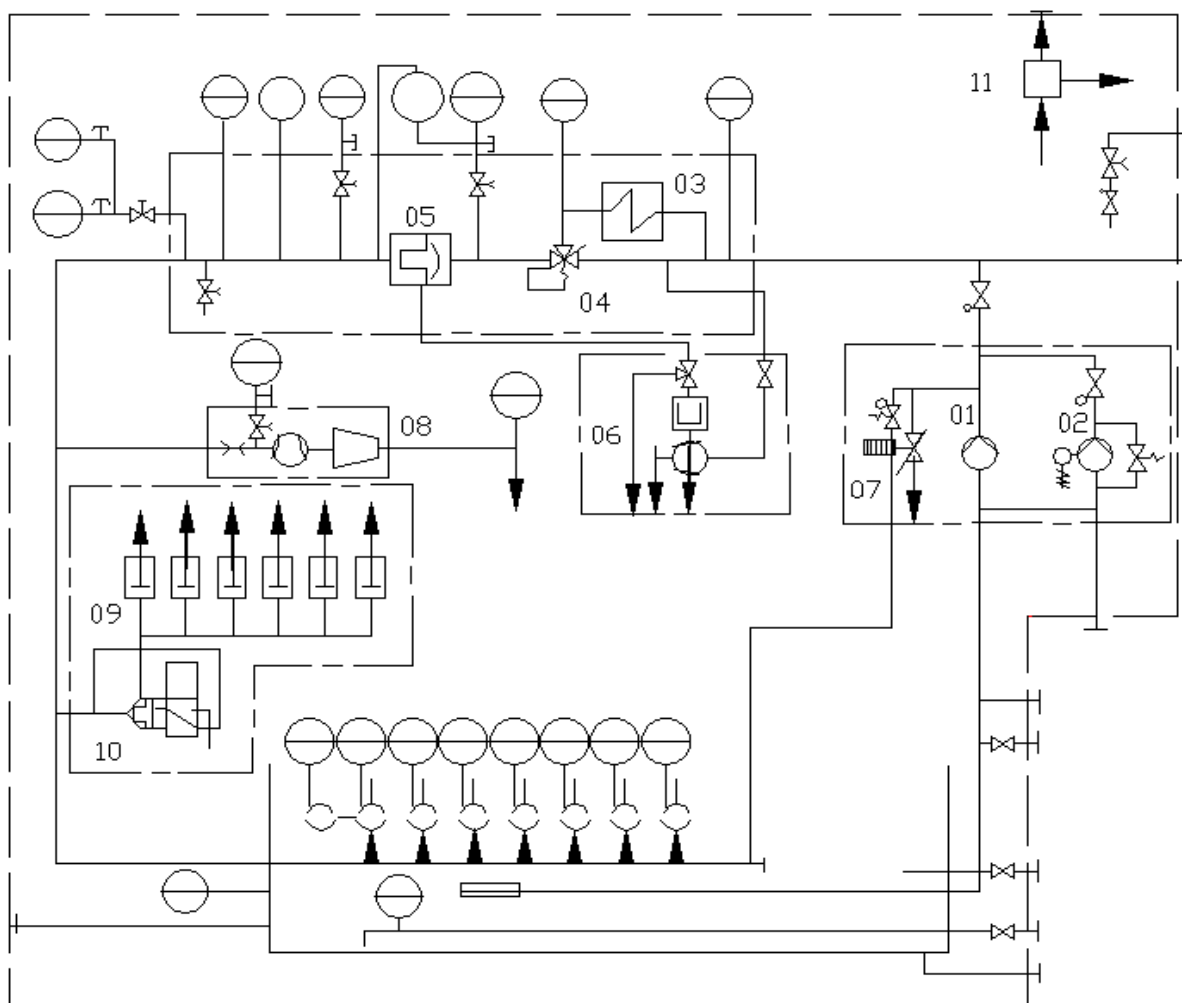
					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

Насос мастила, що наводиться безпосередньо, - шестеренного типу і обладнаний клапаном регулювання тиску. Насос налаштовується таким чином, щоб забезпечити достатній потік навіть за низьких швидкостей. З'єднання для резервного насоса можливе на вибір. Інформацію щодо висоти всмоктування, витрати та тиску насоса див. у розділі «Технічні дані». Насос попереднього мастила - це шестеренний насос, що приводиться від електродвигуна, обладнаний запобіжним клапаном. Насос повинен завжди працювати після зупинки двигуна.

масляні фільтри (призначення, конструкції);

Відцентровий фільтр встановлюється для очищення олії зворотної циркуляції з автоматичний фільтр.

Сітчасті фільтри грубої очистки (2F01, 2F04, 2F06) Рекомендується встановити сітчасті фільтри перед кожним насосом, щоб захистити насос від ушкодження. Щоб мінімізувати втрати тиску, сітчастий фільтр та



всмоктувальна труба мають бути встановлені досить точно. Сітчастий фільтр завжди має бути обладнаний аварійною сигналізацією високого перепаду тиску Дані для проектування: Тонкість фільтрації 0,5 1,0 мм. Показані на рисунку 5.2

Рисунок 5.2 – Масляна система двигуна

Масляна система двигуна (Рисунок 5.2) складається з:

01 Основний насос мастила 05 Автоматичний фільтр 09 Напрямний блок (при системі VIC) 02 Насос попереднього прокачування 06 Відцентровий фільтр 10 Клапан управління ВКЛ/ВИМК (при системі VIC) 03 Холодильник мастила 07 Клапан регулювання тиску 11 Сапун картера 04 Термостатний клапан 08 ГТН

Розрахункова частина масляної системи системи:

Расчёт масляной системы

Дано

$$N_e := 1480$$

$$n := 1200$$

$$g_e := 192$$

$$\eta_M := 0.88$$

$$\eta_H := 0.916$$

$$\rho_M := 895$$

$$C_M := 1.9$$

$$Q_p := 42700$$

$$t_{1окр} := 15$$

$$t_{2окр} := 35$$

$$\Delta t := t_{2окр} - t_{1окр}$$

$$t_{1M} := 62$$

$$\alpha_{ол} := 0.05$$

$$\alpha_{тр} := 0.4$$

$$t_{2M} := 69$$

$$K_w := 1.3$$

$$\Delta t_M := t_{2M} - t_{1M}$$

количество отводимое маслом теплоты

$$Q_{тр} = 3600 \cdot \alpha_{тр} \cdot N_e \cdot \left(\frac{1}{\eta_M} - 1 \right) = 3600 \cdot 0.4 \cdot 1480 \cdot \left(\frac{1}{0.88} - 1 \right) = 290618.0$$

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

проток в контуре смазки для отвода теплоты трения

$$W_1 = \frac{Q_{\text{тр}}}{(C_M \cdot \rho_M \cdot \Delta t_M)} = \frac{290618.0}{1.9 \cdot 895 \cdot (69 - 62)} = 24.41 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Теплота отводимая от поршней

$$Q_{\text{ол}} = \alpha_{\text{ол}} \cdot g_e \cdot N_e \cdot Q_p = 0.05 \cdot 192 \cdot 1480 \cdot 42700 = 6.067 \text{e}8$$

$$\frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Проток масла в контуре охлаждения поршней

$$W_2 = \frac{Q_{\text{ол}}}{(C_M \cdot \rho_M \cdot \Delta t)} = \frac{6.067 \text{e}8}{1.9 \cdot 895 \cdot (35 - 15)} = 17838.0 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Подача масляного насоса

$$W_{\text{МН}} := K_w \cdot (W_1 + W_2) = 1.3 \cdot (24.41 + 17838.0) = 23221.0$$

$$\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Подача через ФТО

$$W_{\text{МН}'} := 0.12 \cdot (W_1 + W_2) = 0.12 \cdot (24.41 + 17838.0) = 2143.0$$

$$\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Площадь поверхности ФТО

$$q_{\text{ф}} := 1.2$$

$$F_{\text{фто}} := \frac{W_{\text{МН}'}}{q_{\text{ф}}} = \frac{2143.0}{1.2} = 1786.0$$

$$\text{м}^2$$

Площадь поверхности ФГО

$$\nu_M := 0.02$$

$$K_{\text{сж}} := 0.25$$

$$\frac{499827}{1000 \cdot 31} \cdot 1.3 = 20.96$$

$$F_{\text{фго}} = \frac{W_{\text{МН}'}}{3600 \cdot \nu_M \cdot K_{\text{сж}}} = \frac{2143.0}{3600 \cdot 0.02 \cdot 0.25} = 119.1$$

$$\text{м}^2$$

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Расчёт теплообменных аппаратов

$$K_3 := 1.3$$

$$\frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$Q = W_{\text{МН}} \cdot C_{\text{М}} \cdot \rho_{\text{М}} \cdot \Delta t_{\text{М}} = 2143.0 \cdot 1.9 \cdot 895 \cdot (69 - 62) = 2.551 \text{e}7$$

$$\Delta t_{\text{ср}} := 0.5 \cdot (t_{1\text{М}} + t_{2\text{М}}) - 0.5 \cdot (t_{1\text{окр}} + t_{2\text{окр}}) = 0.5 \cdot (62 + 69) - 0.5 \cdot (15 + 35) = 40.5$$

С

$$k := 1000$$

$$F_{\text{ом}} = \frac{K_3 \cdot Q}{k \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{1.3 \cdot 2.551 \text{e}7}{1000 \cdot 40.5} = 818.8$$

²
м

Ёмкость расходной цистерны

$$K_v := 1.7$$

$$K_{\text{ц}} := 8$$

$$V_{\text{рц}} = \frac{W_{\text{МН}} \cdot 1.5 \cdot K_v}{K_{\text{ц}}} = \frac{2143.0 \cdot 1.5 \cdot 1.7}{8} = 683.1$$

³
м

Запас масла расходной цистерны

$$K_{\text{м}} := 1.1$$

$$g_{\text{м}} := 0.8 \cdot 10^{-3}$$

$$\tau := 726$$

$$K_{\text{дт}} := 0$$

$$G_{\text{рц}} := K_{\text{м}} \cdot (N_{\text{е}} \cdot \tau) \cdot g_{\text{м}} \cdot (K_{\text{дт}} + 1) \cdot 10^{-3} = 1.1 \cdot 1480 \cdot 726 \cdot 0.8 \cdot 10^{-3} \cdot (0 + 1) \cdot 10^{-3} = 0.9455$$

Т

5.3 Система охлаждения

При розгляді теплового балансу двигуна було встановлено, що тільки частина тепла, що виділяється під час згоряння палива всередині циліндрів дизеля, перетворюється на індикаторну роботу (до 47%). З тепла, що залишилося, приблизно 25% виноситься з газами, а решта тепло (25—28%) для запобігання перегріву деталей двигуна відводять охолоджувальною водою. Для відведення тепла в основних деталях двигуна (циліндр, циліндрова

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

кришка, поршень, корпус випускного клапана) влаштовують спеціальні порожнини або зарубашкові простори, через які пропускають охолодну воду.

Системи охолодження енергетичної установки служать для відведення теплоти від робочих втулок, кришок, поршнів головних та допоміжних дизелів, для охолодження олії та повітря (у двигунах з наддувом). У сучасних дизельних установках таких систем чотири: 1) система охолодження прісною водою циліндрових втулок, кришок та газових турбін; 2) системи охолодження прісною водою або олією головок поршнів; 3) система охолодження прісною водою, олією чи паливом форсунок; 4) система охолодження забортною водою прісної води та олії в системах охолодження та мастила та охолодження повітря в системі наддуву. Принципова схема системи охолодження залежить від роду рідини, форсунки, що охолоджує, і поршні. Двигуни, у яких поршні охолоджуються маслом, а форсунки – паливом, мають один контур прісної води, який служить для охолодження втулок, кришок, циліндрів та корпусів газотурбонагрівачів; для охолодження поршнів; для охолодження форсунок.

Охолоджувальна система двигуна (Рисунок 5.3) складається з: 01 Насос охолоджувальної води, ВТ контур 04 Холодильник мастила 07 Насос забортної води (опціонально) 02 Насос води, що охолоджує, НТ контур 05 Термостатний клапан, ВТ контур 08 Циліндри 03 Холодильник наддувного повітря 06 Регульоване сопло.

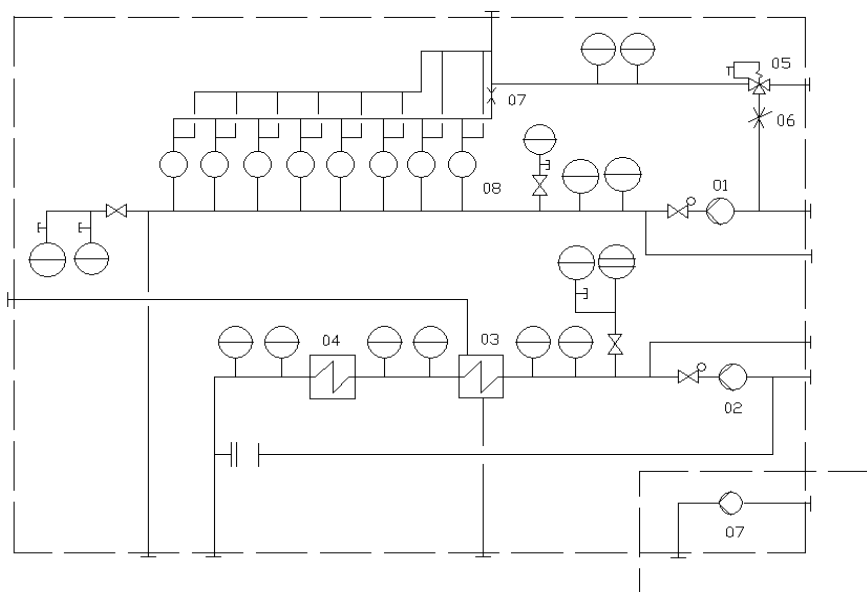


Рисунок 5.3 – Охолоджувальна система двигуна

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ЛЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

Розрахункова частина охолоджувальної системи системи:

$$g_e := 189$$

$$Ne := 1480$$

$$K_3 := 1.3$$

$$\alpha_{\text{ІІВ}} := 0.15$$

$$\alpha_{\text{М}} := 0.05$$

$$Q_p := 42700$$

$$Q_{\text{ІІВ}} := \alpha_{\text{ІІВ}} \cdot g_e \cdot Ne \cdot Q_p = 1.792 \times 10^9$$

$$G_{\text{ІІВ}} := Q_{\text{ІІВ}} \cdot 10^{-3} = 1.792 \times 10^6$$

$$C_{\text{ІІВ}} := 4.19$$

$$\rho_{\text{ІІВ}} := 1$$

$$\Delta t_{\text{ІІВ}} := 8$$

$$W_{\text{ІІВ}} := \frac{K_3 \cdot G_{\text{ІІВ}}}{(C_{\text{ІІВ}} \cdot \rho_{\text{ІІВ}} \cdot \Delta t_{\text{ІІВ}})} = 6.948 \times 10^4$$

$$Q_{\text{М}} := \alpha_{\text{М}} \cdot g_e \cdot Ne \cdot Q_p = 5.972 \times 10^8$$

$$\alpha_{\Sigma} := 3.5$$

$$\tau_{\text{рп}} := 1$$

$$\Delta t_{\text{нп}} := 110$$

$$Q_{\text{нв}} := 14.3 \cdot \alpha_{\Sigma} \cdot g_e \cdot Ne \cdot \tau_{\text{рп}} \cdot \Delta t_{\text{нп}} = 1.54 \times 10^9$$

$$C_{\text{зв}} := 4.188$$

$$\rho_{\text{зв}} := 1.02$$

$$\Delta t_{\text{зв}} := 12$$

$$W_{\text{зв}} := \frac{(Q_{\text{ІІВ}} + Q_{\text{М}} + Q_{\text{нв}})}{C_{\text{зв}} \cdot \rho_{\text{зв}} \cdot \Delta t_{\text{зв}}} = 7.664 \times 10^7$$

$$k := 2000$$

$$\Delta t_{\text{сер}} := 0.5(70 + 62) - 0.5(42 + 20) = 35$$

$$F_{\text{об}} := \frac{(K_3 \cdot Q_{\text{ІІВ}})}{k \cdot \Delta t_{\text{сер}}} \cdot 0.1 = 3.327 \times 10^3$$

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ІІЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

5.4 Системи повітропостачання і газовідводу

Функціональна система повітропостачання в загальному випадку складається з таких підсистем: компресора, теплообмінників, колектора, повітроводів.

Призначенням компресора є підвищення густини повітря за рахунок стискування його і переміщення.

В теплообмінниках густина стисненого повітря змінюється за рахунок зміни його температури.

Колектор служить для забезпечення рівномірної подачі повітря у всі циліндри двигуна.

Повітроводи призначені для транспортування повітря.

Функціональна система газовідводу складається з таких підсистем: колекторів випускних, утилізаційних газових турбін, утилізаційних котлів (в випадку коли великий двигун і є місце і сенс його встановлювати), глушників шуму, газовідводів (трубопроводів).

Випускні колектори призначені для відводу із циліндрів відпрацьованих газів з максимально можливим збереженням їх енергії. При цьому вони повинні сприяти очистці циліндрів від остаточних газів.

Призначенням газових турбін є перетворення в крутний момент механічної енергії відпрацьованих в циліндрах газів.

Глушники шуму призначені для зниження шкідливої звукової дії відпрацьованих газів на навколишнє середовище.

Газоходи служать для транспортування відпрацьованих газів.

Система подачі повітря і газу відводу(рисунок 5.4) складається з таких частин: 01 ГТН 04 Сепаратор водяної суспензії (опціонально) 02 Пристрій очищення компресора 05 Циліндр 03 Холодильник наддувного повітря 06 Повітряний перепускний клапан.

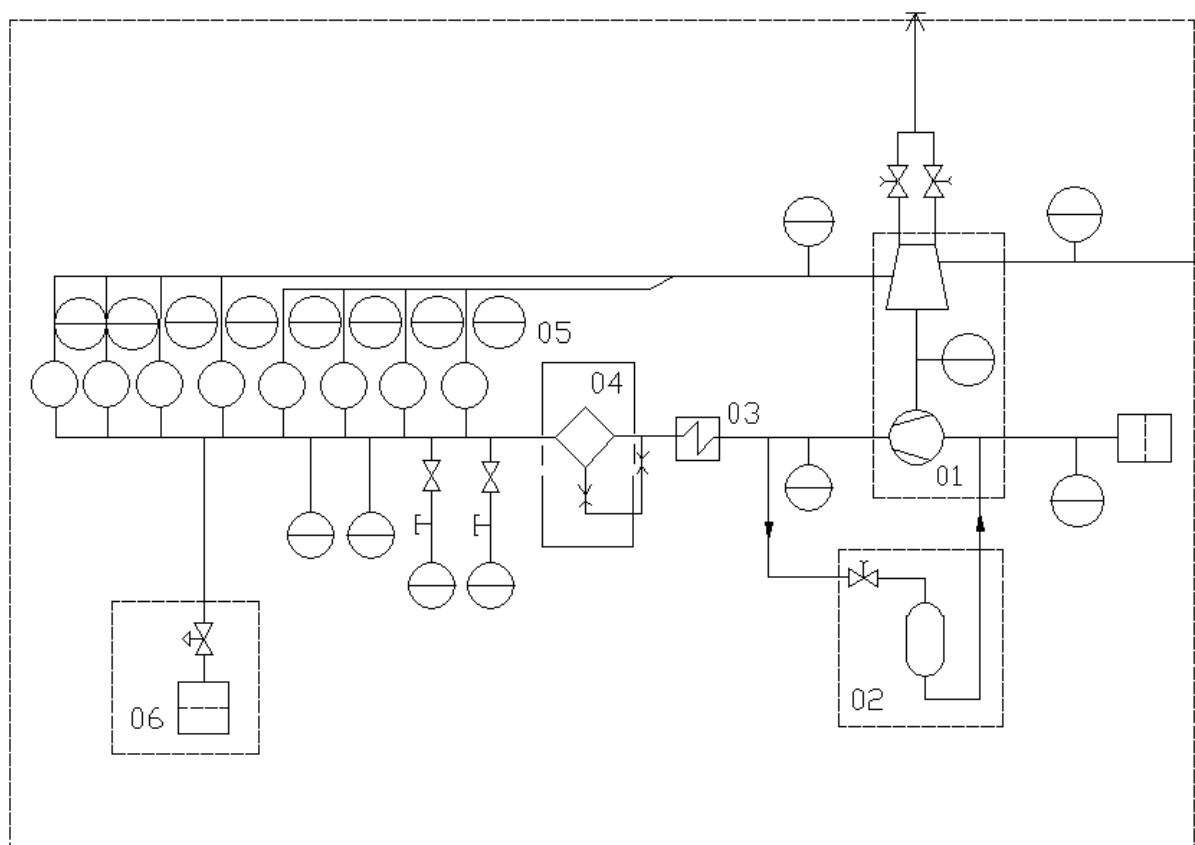


Рисунок 5.4 – Система подачі повітря і газовідводу

Розрахункова частина системи подачі повітря і газовідводу:

$$N_e := 1480$$

$$g_e := 0.191$$

$$p := 2.27$$

$$\alpha_{\Sigma} := 2.4$$

$$L_0 := 14.3$$

$$B = g_e \cdot N_e = 0.191 \cdot 1480 = 282.68$$

$\frac{\text{кг}}{\text{год}}$

$\frac{\text{кг}}{\text{год}}$

$$G_{\Pi} = \alpha_{\Sigma} \cdot L_0 \cdot B = 2.4 \cdot 14.3 \cdot 282.68 = 9702.0$$

$\frac{\text{кг}}{\text{год}}$

$\frac{\text{кг}}{\text{год}}$

$$G = \frac{G_{\Pi}}{3600} = \frac{9702.0}{3600} = 2.695$$

$\frac{\text{кг}}{\text{с}}$

$$T_{\Gamma} := 800$$

$$P_{\Gamma} := 0.105$$

$$V_{\Gamma} := 50$$

$$d_{\text{BH}} = 3.18 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{g_{\text{e}} \cdot N_{\text{e}} \cdot (\alpha_{\Sigma} \cdot L_0 + 1) \cdot T_{\Gamma}}{P_{\Gamma} \cdot V_{\Gamma}}} = 3.18 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{0.191 \cdot 1480 \cdot (2.4 \cdot 14.3 + 1) \cdot 800}{0.105 \cdot 50}} = 0.3922$$

М

$$d_{\text{ЗБ}} = 400 \text{ мм}$$

$$d_{\text{BH}} = 0.4$$

М

$$\lambda_{\text{иЗ}} := 0.086$$

$$\alpha_2 := 11.6$$

$$t_2 := 45$$

$$t_3 := 65$$

$$t_1 := 400$$

$$x \cdot \ln(x) = \frac{2 \cdot \lambda_{\text{иЗ}}}{\alpha_2 \cdot d_{\text{BH}}} \cdot \frac{t_1 - t_3}{t_3 - t_2} = x \cdot \ln(x) = \frac{2 \cdot 0.086}{11.6 \cdot 0.4} \cdot \frac{400 - 65}{65 - 45} = x \cdot \ln(x) = 0.620905$$

$$x = 1.509022$$

$$x \cdot \ln(x) = 0.620905$$

$$d_{\text{иЗ}} = x \cdot d_{\text{BH}} = 1.509022 \cdot 0.4 = 0.6036$$

М

$$\overset{\text{www}}{x} = \frac{d_{\text{иЗ}}}{d_{\text{BH}}}$$

$$S_{\text{иЗ}} = \frac{(d_{\text{иЗ}} - d_{\text{BH}})}{2} = \frac{0.6036 - 0.4}{2} = 0.1018$$

М

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах

Охорона праці на суднах з двопалевними двигунами регулюється різними нормативно-правовими актами на міжнародному та національному рівнях. До них належать:

Міжнародна конвенція про охорону життя на морі 1974 року (SOLAS) - ця конвенція містить вимоги щодо безпеки суден, включаючи вимоги щодо охорони праці на борту судна.

Міжнародна конвенція про працю на морі 2006 року (MLC) - ця конвенція містить вимоги щодо охорони праці на борту судна, включаючи забезпечення безпечних умов праці, надання медичної допомоги, захисту від нещасних випадків та професійних захворювань. Крім того, Конвенція встановлює вимоги щодо робочого часу та відпочинку моряків, а також їхньої заробітної плати та соціального захисту.

Національна законодавча база також містить норми щодо охорони праці на суднах з двопалевними двигунами. В Україні це передбачено Законом "Про морський та річковий транспорт" та Правилами безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах України.

Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (СОЛАС, від англ. International Convention for the Safety of Life at Sea; SOLAS) суть якої полягає у її документах, що послідовно виходили і є, мабуть, найважливішою з усіх міжнародних угод з безпеки торгових суден. Кожне судно, що здійснює міжнародний рейс і яке підпадає під дію цього нормативного документа (див. Правила 3 і 4 Розділу I), повинно виконувати її вимоги (якщо Вимоги не можуть бути виконані з об'єктивних причин, то на судно повинно бути оформлене Вилучення за згодою морської адміністрації прапора судна). В іншому випадку воно може бути затримане, а за деякими позиціями і не

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

допущене в порт. Чинна версія документа відома як «СОЛАС-74»[7]. Головною метою даного нормативного документа є встановлення мінімальних стандартів, що відповідають вимогам з безпеки при будівництві, обладнанні та експлуатації суден. До нормативно-технічної бази з охорони праці при роботі у МКВ судна відносяться наступні спеціально розроблені документи[8]: 1. Правила охорони праці на судах - цей документ встановлює загальні вимоги до охорони праці на судах, забезпечення безпеки і здоров'я працівників, що працюють на борту МКВ суден. 2. Інструкції з охорони праці на МКВ судах - ці документи містять вимоги та інструкції, які регулюють безпеку під час виконання конкретних робіт на борту МКВ судна. 3. Правила внутрішнього розпорядку на борту судна - цей документ регулює правила поведінки та організації життя на борту МКВ судна, зокрема, забезпечення безпеки та гігієни працівників. 4. Технічні правила з охорони праці на судах - ці документи містять вимоги та інструкції, які стосуються безпечного технічного обслуговування та ремонту обладнання на борту МКВ судна. 5. Інструкції з техніки безпеки на МКВ судах - ці документи містять вимоги та інструкції, які стосуються безпеки під час експлуатації обладнання на борту МКВ судна. 6. Схеми розміщення обладнання та пристроїв на борту судна - ці документи містять інформацію про розташування обладнання та пристроїв на борту МКВ судна, що допомагає забезпечити безпеку під час їх використання. ПДМНВ-73/78/95 (International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, STCW-73/78/95) - Міжнародна конвенція про підготовку, дипломування та видачу документів моряка. Розділ А-VI/1 Кодексу ПДМНВ-95 містить вимоги до підготовки та дипломування капітанів та членів екіпажу суден, які включають: 1. Вимоги до підготовки та дипломування капітанів та членів екіпажу, які займають посади, пов'язані з безпекою навігації та охороною життя на судні. 2. Вимоги до підготовки та дипломування капітанів та членів екіпажу, які займають посади, пов'язані з маневруванням та керуванням судном, включаючи вимоги до пілотів та рулевих. 3. Вимоги до

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ІІЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		56

підготовки та дипломування капітанів та членів екіпажу, які займають посади, пов'язані з експлуатацією та обслуговуванням механічного обладнання та систем суден. 4. Вимоги до підготовки та дипломування капітанів та членів екіпажу, які займають посади, пов'язані з безпекою та охороною життя на судні, включаючи вимоги до пожежної безпеки, безпеки на морі та безпеки на борту. 5. Вимоги до підготовки та дипломування капітанів та членів екіпажу, які займають посади, пов'язані з екологічною безпекою та запобіганням забрудненню навколишнього середовища. 6. Вимоги до підготовки та дипломування капітанів та членів екіпажу, які займають посади, пов'язані з безпекою відпочинку та праці на судні.

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які мають місце під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування суднового двигуна 8ЧН20/28

Експлуатація, ремонт та технічне обслуговування суднових двигунів пов'язані з високим рівнем небезпеки для здоров'я та життя людей. До небезпечних та шкідливих факторів, які мають місце під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування суднового двигуна можна віднести:

1. Небезпечні речовини. Під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування суднових двигунів може мати місце випаровування небезпечних речовин, таких як мастильні матеріали, палива, розчинники, хімічні речовини тощо. Ці речовини можуть викликати отруєння, опіки, алергічні реакції та інші негативні наслідки для здоров'я людини. Наявність шкідливих речовин в робочій зоні регламентується ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007.

Нормативний документ, який регламентує параметри загазованості в приміщеннях є ДСТУ 2456–94.

2. Шум та вібрація. Робота суднових двигунів пов'язана з високим рівнем шуму та вібрації, які можуть викликати розвиток захворювань органів слуху та нервової системи. Припустимий рівень широко-смугастого шуму на робочих місцях регламентується ДСТУ 2867-94.

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ІІЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Електричний струм. При роботі з електроустаткуванням суднового двигуна може мати місце ризик ураження електричним струмом, що може призвести до смерті або серйозного ушкодження здоров'я.

4. Висока температура. Під час роботи суднового двигуна виникає значна кількість тепла, що може призвести до опіків, гострих респіраторних захворювань та інших негативних наслідків для здоров'я. Нормативним документом, що регламентує параметри мікроклімату для робочої зони виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99.

5. Ризик виникнення пожежі. Робота суднового двигуна пов'язана з використанням палива та мастильних матеріалів, що створює ризик виникнення пожежі під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування. Пожежа на судні може бути особливо небезпечною, оскільки може призвести до швидкого поширення вогню та ускладнення евакуації з судна. Важливим кроком у напрямку забезпечення пожежної безпеки суден був розроблений фахівцями УкрНДІПБ МНС України нормативний акт НАПБ Б 01.010-2007.

6. Ризик утоплення та травмування. Робота на судні пов'язана з використанням різноманітного обладнання та інструментів, що створює ризик утоплення та травмування в разі потрапляння у воду або взаємодії з обладнанням[9].

Для запобігання негативним наслідкам від небезпечних та шкідливих факторів, які мають місце під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування суднового двигуна, необхідно дотримуватись вимог ПДМНВ78/95 та інших нормативно-правових актів, які регулюють охорону праці на судні. До заходів, які можуть бути вжиті для зменшення ризику виникнення негативних наслідків, можна віднести проведення періодичних медичних оглядів, застосування спеціальних засобів індивідуального захисту, навчання персоналу правилам безпеки робіт та використання відповідного обладнання[10].

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ІІЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		58

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі проведено розрахунок двигуна типу 8ЧН 20/28. Розгляд двигуна полягав в детальному описі його конструкції і його основних частин, розрахунку його термодинамічного циклу і розрахунку динаміки, які показали високу ефективність, збалансованість, перспективність даного двигуна.

В 4 розділі було розраховано та спроектовано відцентровий насос системи охолодження. Запропонований насос має високі показники коефіцієнтів корисної дії та спроектований за сучасним математичним моделюванням.

В 5 розділі було виконано розрахунок основних систем двигуна, розглянуто його принципові схеми і конструкції основних елементів. З розглянутих схем видно, що даний двигун досить сучасний і автоматизований.

В розділі «Забезпечення вимог охорони праці» були розглянуті нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах та проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які мають місце під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування двигуна та судна в цілому.

На основі всіх даних і розрахунків були виконані креслення: поперечний розріз двигуна, відцентровий насос, індикаторна діаграма і діаграми динаміки і схеми основних систем двигуна.

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектное руководство Wärtsilä 20DF - 4/2012 Vaasa, December 2012
2. Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. Миколаїв : Вид-во Торубара В.В., 2015. 332 с.
3. Михайлов В. С., Носовский А. Н., Корниецкий А. В., Пинчук В. А., Чуйко А. А. Курс повышения квалификации судовых механиков : пособ. Николаев: «Барви України», 2009. 384 с.
4. Конспект лекцій до курсу «Конструкція та динаміка двигунів внутрішнього згоряння». Мітрофанов А.С. 2022. (Електронна версія).
5. Robert Bosch GmbH: Системи управління дизельними двигунами. 4. Видавництво "За рулем", 2004, ISBN 3-528-23873-9
6. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни: Підручник. — К.: Арістей, 2006. — 476 с. — ISBN 966-8458-26-5.
7. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974 на сайті Міжнародної морської організації.
8. Міжнародні конвенції, кодекси, рекомендації ІМО і МАРПОЛ. Одеса, 2008. 80 с. 9. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
10. Правила безпеки при експлуатації суден та установок морського транспорту: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0477-19#Text>

					КРБ.142.2227см.23.08.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		