

**МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра теплотехніки та теплових двигунів**

**ТЕПЛОСИЛОВІ УСТАНОВКИ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання курсових і дипломних проектів  
з дисципліни**

***“ТЕПЛОСИЛОВІ ТА ТЕПЛОСПОЖИВЧІ  
УСТАНОВКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ”***

**Харків – 2015**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри теплотехніки та теплових двигунів 14 квітня 2014 р., протокол № 15.

Наведено програму курсу, зміст теоретичних і практичних занять, зміст і методичні вказівки до виконання курсового проекту за розділом “Теплосилові установки залізничного транспорту” курсу лекцій “Теплосилові та теплоспоживчі установки залізничного транспорту”.

Методичні вказівки призначені для студентів усіх форм навчання спеціальності “Теплоенергетика”. Вони можуть бути використані також студентами спеціальностей “Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту (Локомотиви)” і “Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання”, які вивчають дисципліни, що пов’язані з теплосиловими установками з ДВЗ.

Укладачі:

доценти О.Г. Круshedольський,  
В.А. Корогодский,  
О.В. Василенко

Рецензент

доц. В.І. Рубльов

## ТЕПЛОСИЛОВІ УСТАНОВКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсових і дипломних проектів  
з дисципліни

*“ТЕПЛОСИЛОВІ ТА ТЕПЛОСПОЖИВЧІ  
УСТАНОВКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ”*

Відповідальний за випуск Василенко О.В.

Редактор Ібрагімова Н.В.

---

Підписано до друку 07.04.15 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,25. Тираж 30. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**Кафедра теплотехніки та теплових двигунів**

**ТЕПЛОСИЛОВІ УСТАНОВКИ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**Методичні вказівки  
до виконання курсових і дипломних проектів  
з дисципліни  
“Теплосилові та теплоспоживчі  
установки залізничного транспорту”  
для студентів спеціальності “ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА”**

**Харків 2015**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри теплотехніки та теплових двигунів 14 квітня 2014 р., протокол № 15.

Наведено програму курсу, зміст теоретичних і практичних занять, зміст і методичні вказівки до виконання курсового проекту за розділом “Теплосилові установки залізничного транспорту” курсу лекцій “Теплосилові та теплоспоживчі установки залізничного транспорту”.

Методичні вказівки призначені для студентів усіх форм навчання спеціальності “Теплоенергетика”. Вони можуть бути використані також студентами спеціальностей “Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту (Локомотиви)” і “Підйомно–транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання”, які вивчають дисципліни, що пов’язані з теплосиловими установками з ДВЗ.

Укладачі:  
доценти О.Г. Крушедольський,  
В.А. Корогодский,  
О.В. Василенко

Рецензент  
доц. В.І. Рубльов

# **1 ПРОГРАМА РОЗДІЛУ “Теплосилові установки залізничного транспорту” курсу “Теплосилові та теплоспоживчі установки залізничного транспорту”**

Навчальний план: лекції (45 години) – 9 семестр, практичні заняття (30 годин) – 9 семестр, курсовий проект – 9 семестр, іспит – 9 семестр.

## **ТЕОРЕТИЧНИЙ КУРС**

### **Теплосилові установки рухомого складу (20 годин)**

Вступ. Теплосилові установки (ТСУ) на залізничному транспорті. Вимоги, які висуваються до ТСУ залізничного транспорту. Основний закон локомотивної тяги. Колісна потужність і тягові характеристики різних типів локомотивів. Теплосилові установки локомотивів. Паровози, тепловози, газотурбовози звичайні та з вільнопоршневими генераторами газу (ВПГГ), атомовози. Порівняльна оцінка їхньої енергетичної ефективності. Дизельні силові установки (СУ) магістральних, вивізних і маневрових тепловозів і дизель-поїздів. Визначення потрібної потужності тепловозного дизеля. Характеристики роботи тепловозних дизелів. Завантаження тепловозних дизелів в експлуатації. Паливна економічність тепловозних СУ та шляхи її підвищення. Середньоексплуатаційна витрата палива. Пересувні дизельні установки залізничного транспорту. Дизель-електричні станції (ДЕС) рефрижераторного рухомого складу. Аварійні пересувні ДЕС.

### **Стаціонарні теплосилові установки (9 годин)**

Стаціонарні ТСУ. Дизель-електричні станції (ДЕС). Вимоги, які висуваються до дизелів ДЕС. Графіки добового навантаження ДЕС. Вибір кількості силових агрегатів ДЕС. Характеристики дизелів, що використовуються на ДЕС. Вибір оптимальної кількості працюючих силових агрегатів на різних режимах ДЕС. Особливості системи САР дизелів ДЕС. Підготовка ґрунту під

фундамент для стаціонарних дизелів. Фундаменти під дизелі та їх розрахунок. Монтаж дизелів на фундаментах. Вибір габаритів приміщень машинних залів ДЕС. Дизель-компресори та дизель-молоти. Улаштування потужних ДЕС із піковими котлами та котлами утилізаторами.

### **Системи теплосилових установок (16 годин)**

Паливні системи ТСУ тепловозів і ДЕС на звичайному та важкому паливі. Паливні сховища і транспортування палива. Визначення витрати пари на підігрів паливних сховищ та окремих пристроїв паливної системи. Паливні фільтри та сепаратори. Системи змащування ТСУ та їх обладнання (масляні фільтри грубого та тонкого очищення, масляні насоси). Розрахунок системи змащування. Системи охолодження ТСУ локомотивів і ДЕС. Системи високотемпературного охолодження (ВТО). Двоконтурні системи охолодження. Системи повітропостачання та випуску відпрацьованих газів. Глушники шуму. Система утилізації теплоти випускних газів і води системи охолодження. Котли-утилізатори. Акумулятори теплоти. Системи запуску ТСУ локомотивів і ДЕС. Електрозапуск, повітряний запуск і запуск від стороннього джерела.

### **Енергозбереження та екологія на залізничному транспорті (6 годин)**

Енергозбереження на залізничному транспорті. Утилізація теплоти охолоджуючої води та відпрацьованих газів ТСУ. Використання альтернативного палива. Газові та газогенераторні двигуни. Методи переведення дизельних двигунів на газове паливо. Екологія ТСУ на залізничному транспорті та безпека життєдіяльності обслуговуючого персоналу. Методи зниження пагубного впливу на людину токсичних викидів і шуму.

## **ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ**

Практичні заняття призначені для розв'язання задач проектування окремих систем та елементів ТСУ. На практичні заняття виносяться такі теми.

Проведення порівняльної оцінки енергетичної ефективності різних типів локомотивів (4 години). Розрахунок питомої середньоексплуатаційної ефективної витрати палива (4 години). Розрахунковий вибір оптимальної кількості одночасно працюючих силових агрегатів на різних режимах навантаження ДЕС (4 години). Розрахунок системи змащування та вибір параметрів масляного насоса (4 години). Розрахунок системи охолодження та вибір параметрів водяного насоса (4 години). Розрахунки потрібних витрат пари на підігрів паливних сховищ та окремих пристроїв паливної системи (2 години). Вибір системи утилізації теплоти (4 години). Розрахунок котлів-утилізаторів (2 години). Розрахунок глушників шуму (2 години).

## **КУРСОВИЙ ПРОЕКТ**

По цьому розділу курсу навчальним планом передбачається курсовий проект за різними темами. Курсовий проект є комплексним. Групі студентів пропонується спроектувати для будь-якого тепловоза або будь-якої ДЕС системи охолодження, змащування, паливну систему на важкому паливі або систему утилізації теплоти. В окремих випадках відповідно до рекомендацій “Програми удосконалення навчального процесу”, яка видана УкрДАЗТ, при узгодженні з керівниками дипломного проектування, темою курсового проекту може бути вибрана будь-яка частина майбутнього дипломного проекту, яка відповідає фрагменту вище визначеної робочої програми. При цьому графічна частина проекту залишається у студента для використання в дипломному проекті.

## **2 ТЕМИ ТА ЗАВДАННЯ НА КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТСУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Курсовий проект з курсу “Теплосилові та теплоспоживчі установки залізничного транспорту” має за мету отримання студентами практичних навичок з вибору схем і розрахунку різних систем ТСУ і ТСПУ та їхніх окремих вузлів. Проектування ведеться за такими напрямками:

- 1 Системи охолодження тепловозних і стаціонарних ТСУ.
- 2 Системи змащування тепловозних і стаціонарних ТСУ.
- 3 Системи утилізації теплоти охолоджуючої води та відпрацьованих газів на стаціонарних ТСУ.

Крім вище зазначених напрямків, за згодою зі студентами останнього курсу та керівниками їх дипломних проектів у якості курсового проекту з ТСУ та ТСПУ можливо виконання розділу майбутнього дипломного проекту, який пов’язано з проектуванням і розрахунком будь-якої ТСУ або ТСПУ.

Завдання по зазначених вище напрямках отримують студенти четвертого курсу скороченого навчання (після технікуму), а також студенти п’ятого курсу денного навчання та шостого курсу безвідривного навчання, які на перше вересня останнього семестру ще не визначились з темою дипломного проектування.

## **2.1 Завдання на курсове проектування по напрямках**

### **2.1.1 Система охолодження тепловозних і стаціонарних ТСУ**

У цьому напрямку треба вибрати схему системи охолодження, визначити елементи схеми та зробити їх докладний опис. Треба визначити кількість двигунів, які входять до ТСУ, витрату рідини, що охолоджує двигун, запас цієї рідини в системі та зробити проектний розрахунок циркуляційного насоса. Вихідними даними для цього проекту є:

- $P_e, кВт$  – ефективна потужність ТСУ;
- $N_e, кВт$  – номінальна ефективна потужність одного двигуна, який входить до ТСУ;
- $n, хв^{-1}$  – частота обертання вала двигуна на режимі номінальної потужності;
- $g_e, кг/(кВт \cdot год)$  – питома ефективна витрата палива на режимі номінальної потужності;



- $q_{вод}$ , % – питома витрата теплоти двигуна в систему охолодження;
- $H$ , м – напір, який потрібно виробити насосом у системі циркуляції.

Усі зазначені вище дані зведено за варіантами в таблицю 2.1.

У таблиці знаком (\*) позначена наявність системи високотемпературного охолодження (ВТО). Тут також прийнято такі аббревіатури: ДЕС – дизель-електрична станція, ЕП – енергопоїзд, РФ – рефрижераторний склад.

При виконанні курсового проекту по цьому напрямку виконуються два креслення: 1) схема системи охолодження; 2) креслення загального виду водяного насосу.

Необхідні дані по температурах води на виході з дизеля та на вході до нього ( $t_в''$ ,  $t_в'$ ) наведено в літературних джерелах [6 – 25] або уточнюються з керівником проекту.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для курсового проекту на тему “Система охолодження тепловозних та стаціонарних двигунів”

Ва- рі- ант	Назва об’єкта	$P_e$ , кВт	$N_e$ , кВт	$n$ , хв <sup>-1</sup>	$g_e$ , кг/(кВт·- год)	$q_{вод}$ , %	$H$ , м
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Магістральний тепловоз *	4150	2205	1000	0,204	18	33
2	Магістральний тепловоз	4150	2205	850	0,224	21	31
3	Магістральний тепловоз	2073	2205	750	0,235	23	34
4	Магістральний тепловоз	2765	2941	1000	0,208	19	30
5	Магістральний тепловоз	2765	1470	750	0,245	22	29
6	Магістральний тепловоз *	4147	4412	1000	0,197	16	33
7	Магістральний тепловоз *	3456	3676	1000	0,198	17	31
8	Маневровий тепловоз	933	993	750	0,221	20	18
9	Маневровий тепловоз	830	883	750	0,234	21	17
10	Маневровий тепловоз	553	600	1000	0,206	19	16

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
11	Маневровий тепловоз	470	500	1000	0,210	16	8
12	Дизель-поїзд	1200	600	1500	0,222	15	7
13	Дизель-поїзд	1120	588	1000	0,209	17	6
14	Стаціонарна ДЕС *	6000	1600	750	0,204	21	39
15	Стаціонарна ДЕС *	10000	2660	1000	0,198	18	41

16	Стационарна ДЕС *	9400	2000	750	0,199	20	38
17	Пересувна ДЕС ЕП	4150	2205	1000	0,206	18	34
18	Пересувна ДЕС ЕП	1500	1600	750	0,203	21	33
19	Пересувна ДЕС РФ	188	100	1500	0,227	14	6
20	Пересувна ДЕС РФ	160	85	1500	0,225	15	5

### 2.1.2 Система змащування тепловозних і стаціонарних ТСУ

У цьому напрямку треба вибрати схему системи змащування, визначити елементи схеми та зробити їх докладний опис. Треба визначити кількість двигунів, які входять до ТСУ, витрату мастила на двигун, запас мастила в системі та зробити проектний розрахунок масляного насоса. Крім зазначених у розділі 1, вихідними даними для цього проекту є:

- $q_m$ , % – питома витрата теплоти двигуна в систему змащування;
- $p_m$ , МПа – тиск мастила в системі змащування.

Усі зазначені вище дані зведено за варіантами в таблицю 2.2. За середню температуру мастила приймається  $T_{m\text{сер}} = 350$  К.

При виконанні курсового проекту по цьому напрямку виконуються два креслення: 1) схема системи змащування; 2) креслення загального вигляду масляного насоса.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для курсового проекту з теми “Система змащування тепловозних і стаціонарних двигунів”

Ва-ріант	Назва об’єкта	$P_e$ , кВт	$N_e$ , кВт	$n$ , хв <sup>-1</sup>	$g_e$ , кг/(кВт·год)	$q_m$ , %	$P$ , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8
21	Магістральний тепловоз *	4150	2205	1000	0,204	4,5	0,6
22	Магістральний тепловоз	4150	2205	850	0,224	7	0,55

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
23	Магістральний тепловоз	2073	2205	750	0,235	6,5	0,5
24	Магістральний тепловоз	2765	2941	1000	0,208	3,8	0,52
25	Магістральний тепловоз	2765	1470	750	0,245	6,8	0,54
26	Магістральний тепловоз *	4147	4412	1000	0,197	4	0,6
27	Магістральний тепловоз *	3456	3676	1000	0,198	3,5	0,65
28	Маневровий тепловоз	933	993	750	0,221	3,7	0,5
29	Маневровий тепловоз	830	883	750	0,234	4,2	0,5
30	Маневровий тепловоз	553	600	1000	0,206	4	0,53

31	Маневровий тепловоз	470	500	1000	0,210	3,9	0,6
32	Дизель-поїзд	1200	600	1500	0,222	4,3	0,55
33	Дизель-поїзд	1120	588	1000	0,209	4,5	0,6
34	Стаціонарна ДЕС *	6000	1600	750	0,204	4,8	0,58
35	Стаціонарна ДЕС *	10000	2660	1000	0,198	5	0,53
36	Стаціонарна ДЕС *	9400	2000	750	0,199	5,3	0,5
37	Пересувна ДЕС ЕП	4150	2205	1000	0,206	4	0,55
38	Пересувна ДЕС ЕП	1500	1600	750	0,203	5	0,53
39	Пересувна ДЕС РФ	188	100	1500	0,227	3	0,6
40	Пересувна ДЕС РФ	160	85	1500	0,225	3,5	0,55

### 2.1.3 Система утилізації теплоти охолоджуючої води та відпрацьованих газів

У цьому напрямку треба вибрати схему системи утилізації на стаціонарній ДЕС, визначити елементи схеми та зробити їх докладний опис. Треба визначити кількість двигунів, які входять до ТСУ, витрату випускних газів з двигуна та зробити проектний розрахунок котла-утилізатора. Крім зазначених у розділі 1, вихідними даними для цього проекту є:

- $q_{вз}, \%$  – питома витрата теплоти двигуна з відпрацьованими газами;
- $p_T, МПа$  – тиск відпрацьованих газів перед турбіною турбокомпресора;
- $T_T, K$  – температура відпрацьованих газів перед турбіною;
- $p_{зт}, МПа$  – тиск газів за турбіною;
- $\eta_T$  – ККД турбіни.

Усі зазначені вище дані зведено за варіантами в таблицю 2.3.

При виконанні курсового проекту по цьому напрямку виконуються два креслення: 1) схема системи утилізації теплоти на ДЕС; 2) креслення загального вигляду котла-утилізатора.

У графі “Варіант” знаком (\*) відмічено варіант із жаротрубним котлом-утилізатором. В інших варіантах мається на увазі водотрубні котли-утилізатори.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для курсового проекту на тему “Система утилізації теплоти охолоджуючої води та відпрацьованих газів на стаціонарній ДЕС”

Ва-	$P_e,$	$N_e,$	$n,$	$g_e,$	$q_{вз},$	$T_T,$	$p_T,$	$p_{зт},$	$\eta_T$
-----	--------	--------	------	--------	-----------	--------	--------	-----------	----------

рі-ант	<i>кВт</i>	<i>кВт</i>	<i>хв<sup>-1</sup></i>	<i>кг/(кВт·год)</i>	%	<i>К</i>	<i>МПа</i>	<i>МПа</i>	
41	6000	1600	750	0,204	35	773	0,21	0,105	0,8
42*	10000	2660	1000	0,198	36	823	0,25	0,106	0,78
43	9400	2000	750	0,199	33	800	0,26	0,1045	0,8
44*	22000	2925	1000	0,200	34	873	0,28	0,1055	0,79
45	16000	2128	750	0,198	31	790	0,27	0,1039	0,8
46*	12000	3191	1000	0,197	30	923	0,3	0,104	0,8
47	8000	1700	750	0,203	32	780	0,22	0,105	0,78
48	9000	1915	750	0,204	35	793	0,24	0,106	0,8
49*	18000	2735	1000	0,206	37	850	0,27	0,1065	0,8
50	5000	1064	1000	0,203	32	783	0,23	0,107	0,75

### **3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ ПО СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ**

#### **3.1 Система охолодження**

Система охолодження – водяна система, яка має два самостійних контури циркуляції води. Основний контур забезпечує охолодження дизеля, а також може виконувати підігрів палива в паливопідігрівачу, підігрів повітря в кабіні машиніста, підігрів води в санвузлі. Допоміжний контур призначений для охолодження в теплообмінниках наддувного повітря та дизельного мастила. Необхідність застосування двох контурів зумовлено тим, що для охолодження дизеля потрібна більш нагріта вода, ніж вода, яка використовується для охолодження мастила та наддувного повітря. Циркуляцію води в кожному контурі здійснює спеціальний насос, який отримує привод від колінчастого вала дизеля. Для охолодження води основного та допоміжного контурів на тепловозі та на дизель-поїзді використовуються радіаторні секції, які встановлено у шахті холодильного відсіку і крізь які циркулює атмосферне повітря завдяки вентиляторам. Ці вентилятори розташовані під дахом холодильного відсіку та приводяться або механічним, або електричним, або гідравлічним приводом. Обидва контури об'єднані розширювальним баком, закріпленим над шахтою холодильного відсіку. На стаціонарних і судових установках

замість радіаторних секцій використовують кожухотрубні або пластинчаті теплообмінники, у яких охолоджуюча вода охолоджується водопровідною або забортною водою.

Водяні насоси, як правило, є насосами відцентрового типу.

Охолоджена в тепловозних радіаторних секціях (або у вододіяних теплообмінниках стаціонарних і судових установок) першого контуру вода поступає у всмоктувальну порожнину насоса та нагнітається у водяні порожнини циліндрів, кришок циліндрів і турбокомпресора дизеля, звідки, відібравши частину тепла, гаряча вода повертається в секції.

Для контролю температури води, яка виходить з дизеля, призначений дистанційний електротермометр, показник якого виведений на пульт машиніста. Датчик – реле температури, що потрібен для системи автоматики керування холодильником.

У системі встановлено один розширювальний бак для обох контурів. Він з'єднаний живильними трубами зі всмоктувальними магістралями кожного насоса. При заповненні системи водою бак заповнюють приблизно на 2/3 об'єму. Остання частина потрібна для розширення води при нагріві та збору пари, яка поступає у верхню частину бака через тонкі паровідвідні трубки з верхніх точок дизеля та секцій холодильників води.

На верхній стінці бака є заливна горловина, зачинена кришкою з вбудованим у неї пароповітряним клапаном. На боковій стінці встановлено водомірне скло, яке показує рівень води в баці, а також датчик – реле рівня, що сигналізує про зниження рівня води нижче допускового. Для підігріву палива та обігріву кабіни паралельно першому контуру циркуляції води, розглянутому вище, підключений допоміжний контур.

При працюючому дизелі гаряча вода в допоміжний контур поступає по трубі з вентилям. Через вентиль вода поступає в калорифер кабіни машиніста і в обігрівач підлоги. Для вимкнення підігрівача палива відкривають вентиль. Після проходження вказаних вище теплообмінників вода повертається до насоса через трубу з вентилям.

Охолоджена в радіаторних секціях тепловоза (або у вододіяних теплообмінниках стаціонарних і судових установок) вода другого контуру поступає у всмоктувальну порожнину водяного насоса. Потім вона нагнітається послідовно в охолоджувач

наддувного повітря та охолоджувач мастила. Відібравши тепло від наддувного повітря та мастила дизеля, нагріта вода знову поступає в секції. Для контролю температури води на виході з секцій холодильника є дистанційний електротермометр, показник якого виведений на пульт машиніста. На цьому ж трубопроводі встановлені датчики – реле температури для системи автоматики, яка керує роботою системи охолодження тепловоза (жалюзі та привод вентилятора).

Заправку системи охолодження водою (під тиском) виконують через одну зі з'єднувальних головок, які знаходяться по обидва боки тепловоза. Дозаправлення розширювального бака можна виконати через заливну горловину. Прогрів дизеля перед пуском, а також секцій холодильника та всіх теплообмінників можна виконати прокачуванням гарячої води від постійного джерела. Для цього воду під тиском підводять до з'єднувальної головки. Відведення води виконується через з'єднувальну головку.

Для виключення розморожування охолоджувача наддувного повітря та переохолодження мастила дизеля при низьких температурах навколишнього повітря всмоктувальний трубопровід насоса другого контуру з'єднаний трубопроводом з виходом води з першого контуру.

Через вентиль при його відкритті відбувається часткове змішування води обох контурів і в результаті – підвищення температури в допоміжному контурі.

Застосовану в системі охолодження воду підготовлюють у спеціальному відділенні депо з конденсату, отриманого в парових або електричних дистильаторах, до якого додають залежно від типу тепловоза відповідні присадки (каустичну соду, нітрат натрію, тринатрійфосфат). Використання каустичної соди в якості присадки сприяє зниженню утворенню накипу, що заважає передачі тепла від нагрітих деталей дизеля воді, яка їх охолоджує. Окрім того, накип стискає пропускну спроможність секцій радіатора. Нітрат натрію є антикорозійною присадкою. Водяну систему тепловоза заправляють гарячою водою, яка подається під тиском через загальний для двох контурів трубопровід. Для вилучення повітря з системи, при заправці її водою, відкривають кран у верхній частині корпусу охолоджувача наддувного повітря

та закривають його при витіканні води з крана. Набір води ведуть до того часу, доки вона не почне витікати з сигнальної труби. Викид води і пари через цю трубу під час експлуатації тепловоза є наслідком перегріву води.

Температура води в системі регулюється автоматично. Встановлені на трубопроводах термореле керують роботою електропневматичних вентилів.

### 3.2 Розрахунок системи охолодження

Розрахунок ведеться за роботою [4, с. 205...212].

Вихідні дані для розрахунку:

- ефективна потужність двигуна  $N_e$ , кВт;
- нижня теплота згоряння палива  $Q_n^p$ , кДж/кг;
- частка теплоти, яка відводиться від двигуна з водою,  $q_v$ , %;
- температура води на виході з двигуна  $t_v''$ , °C;
- температура води на вході у двигун  $t_v'$ , °C;
- необхідний напір води в системі  $H$ , м вод.ст.;
- швидкість обертання вала двигуна  $n$ , об/хв;

Годинна витрата палива, кг/год:

$$B_v = g_e \cdot N_e . \quad (3.1)$$

Кількість теплоти, яка відводиться від двигуна з водою, кВт:

$$Q_v = \frac{B_v \cdot Q_n^p \cdot q_v}{360000} . \quad (3.2)$$

Витрата води в системі, кг/с:

$$G_v = \frac{Q_v}{c_p(t_v'' - t_v')} , \quad (3.3)$$

де  $c_p$  кВт/(кг·град) – ізобарна теплоємність води при середній температурі води в контурі;

$(t'' - t')$  – різниця температур 3...5°C (одна з температур на виході з дизеля або на вході наведені у інструкції по експлуатації дизеля).

Об'ємна витрата води в контурі,  $m^3/c$ :

$$V' = G_v / \rho_v \quad (3.4)$$

де  $\rho_v$  – густина води при середній температурі води у контурі,  $kg/m^3$ .

Ємність контуру охолоджувача, л:

$$V_{охол.} = N_e \cdot \varepsilon, \quad (3.5)$$

де  $\varepsilon$  – питома ємність контуру,  $л/кВт$ ,  $\varepsilon = 0,3...0,4 л/кВт$  для дизелів з  $N_e > 900$  кВт,  $\varepsilon = 0,36...0,74 л/кВт$  для дизелів з  $N_e < 900$  кВт.

Кратність циркуляції,  $хв^{-1}$ :

$$K_u = 60000V' / V_{охол.} \quad (3.6)$$

Розрахункова витрата води  $G_v$  приймається на 15 – 20 % більше з метою врахування можливості прориву води між колесом і корпусом насоса,  $kg/c$ :

$$G_{v,розр.} = (1,15...1,2)G_v. \quad (3.7)$$

Розрахункова об'ємна витрата води,  $m^3/c$ :

$$V_{v,розр.} = G_{v,розр.} / \rho_v. \quad (3.8)$$

### 3.3 Розрахунок водяного насоса

Для забезпечення циркуляції води в системі охолодження встановлюють водяний насос. У системі охолодження тепловозних, стаціонарних і судових дизелів застосовують тільки одноколісні відцентрові насоси. Вони мають високий ККД і забезпечують вільний прохід води при спорожненні системи.



Насос має дві основні частини: статор (нерухома частина) і ротор (рухома частина). Статор складається зі станини, задньої головки, корпусу, всмоктувальної головки. Деталі його виготовлені з бронзи з метою передбачення корозії. Вони з'єднані шпильками, які загорнуті в корпус. Ротор складається з робочого колеса, вала, шестерні, розпірної втулки, гайок.

Вода входить у насос через вікно у всмоктувальному отворі головки, надходить до центра колеса, забирається його лопатками та під дією відцентрової сили відкидається через нагнітальний патрубок.

Щоб попередити просочування води вдовж вала насоса, у задній головці встановлений сальник.

Для попередження витікання мастила є ущільнювальне кільце. Мастило, яке пройшло через кільце, збирається в канавці кільця.

Алгоритм розрахунку водяного насоса.

Потужність насоса, *кВт*:

$$N = \frac{G_{в.розр} \cdot H \cdot g}{1000 \cdot \eta_n}, \quad (3.9)$$

де  $G_{в.розр}$  – розрахункова витрата води, кг/с;

$H$  – необхідний напір, який є підсумковою гідравлічною втратою в системі, м;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;

$\eta_n = 0,75 \dots 0,92$  – ККД насоса.

Частота обертів колеса насоса,  $\text{хв}^{-1}$ :

$$n_n = H^{3/4} \cdot n_s / 3,65 / (V_{в.розр.})^{0,5}, \quad (3.10)$$

де  $n_s = 130 \dots 150$  – коефіцієнт швидкохідності.

Задаємося швидкістю входу води в колесо  $C_o = 2,5 \dots 3, \text{ м/с}$ .

Задаємося діаметром вала  $d_o$ , мм (для середньо швидкісних дизелів  $d_o = 30 \dots 50$  мм);

Діаметр втулки колеса, мм:

$$d_{\text{вн.}} = (1,2 \dots 1,25) \cdot d_o. \quad (3.11)$$

Діаметр вхідного отвору  $D_o$  в колесо насоса отримаємо з рівняння для визначення вхідного перетину,  $m^2$ :

$$F_{\text{вх.}} = \frac{V_{\text{в. розр}}}{C_o} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - d_{\text{вн.}}^2). \quad (3.12)$$

Тоді з рівняння знаходимо,  $m$ :

$$D_o = \sqrt{d_{\text{вн.}}^2 + \frac{4 \cdot F_{\text{вх.}}}{\pi}}. \quad (3.13)$$

Визначаємо швидкість води на вході після стискування потоку,  $m/c$ :

$$C_{m1} = \kappa_1 \cdot C'_{m1}, \quad (3.14)$$

де  $\kappa_1 = 1,1 \dots 1,15$  – коефіцієнт стискування перетину лопаток на вході;

$C'_{m1} = C_o$  – проекція швидкості води до стискування лопатками.

Визначаємо радіальну швидкість води на вході в колесо,  $m/c$ :

$$U_1 = \frac{C_{m1}}{\text{tg}(\beta - \delta)} \quad (3.15)$$

де  $\beta_1 = 20^\circ \dots 25^\circ$  – вхідний кут лопатки;

$\delta = 3^\circ \dots 8^\circ$  – кут атаки.

Середній діаметр колеса на вході,  $m$ :

$$D_1 = \frac{60 \cdot U_1}{\pi \cdot n_n}. \quad (3.16)$$

Ширина каналу на вході води, м:

$$b_1 = \frac{V_{в.розр.}}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_{m1}} . \quad (3.17)$$

де  $R_1 = D_1 / 2$  мм.

Приведений діаметр входу в колесо, мм:

$$D_{1np} = (4 \dots 4,5) 10^3 (V_{в.розр.} / n_n)^{0,333} . \quad (3.18)$$

Гідравлічний ККД:

$$\eta_z = 1 - \frac{0,42}{(\lg D_{1np} - 0,172)^2} . \quad (3.19)$$

Теоретичний напір лопатного колеса, м вод.ст.:

$$H_m = \frac{H}{\eta_z} . \quad (3.20)$$

Радіальна швидкість виходу води, м/с:

$$U_2 = (2g \cdot H_m)^{0,5} . \quad (3.21)$$

Зовнішній діаметр колеса, м:

$$D_2 = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot n_n} . \quad (3.22)$$

Радіус колеса на виході води, м:

$$R_2 = D_2 / 2 . \quad (3.23)$$

Швидкість потоку на виході з колеса  $C'_{m2}$  без урахування стискування перетину лопатками приймається рівною  $C'_{m1}$ .

Кут  $\beta_2$  визначаємо з розрахунку отримання корисного відношення  $W_1/W_2$  відносних швидкостей входу і виходу. Це відношення повинно бути приблизно від одиниці до 1,4.

Прийнявши  $W_1/W_2 = 1 \dots 1,4$ , отримаємо

$$\sin \beta_2 = \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{\kappa_2}{\kappa_1} \cdot \frac{C'_{m2}}{C'_{m1}} \cdot \sin \beta_1, \quad (3.24)$$

де  $\kappa_2 = 1,05 \dots 1,1$  – коефіцієнт стискування перетину лопаток на виході.

Найбільш вигідна кількість лопаток, *шт.*:

$$Z = 13 \cdot \frac{R_2 + R_1}{2 \cdot (R_2 - R_1)} \cdot \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}. \quad (3.25)$$

Ширина каналу колеса на виході води, *м*:

$$b_2 = \frac{V_{в.розр.}}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot C_{m2}'}. \quad (3.26)$$

Використовуючи результати розрахунку, визначають профіль лопатки (див. рисунок 3.1), який повинен забезпечити безударний вхід рідини в насос.

Для утворення профілю лопатки проводяться зовнішнє коло лопатки з діаметром  $D_2$  та внутрішнє коло з діаметром  $D_1$ . У будь-якій точці А на зовнішньому колі будується кут  $\beta_2$  від дотичної в цій точці проти годинникової стрілки. У центрі (точка О) від радіуса ОА проти годинникової стрілки відкладається кут  $(\beta_1 + \beta_2)$ . Промінь цього кута перетинає коло радіуса  $R_1$  у точці К. Через точки А і К проводиться лінія АК до точки В перетину продовження цієї лінії після точки К із колом радіуса  $R_1$ . Із середини відрізка АВ (точка L) будуємо перпендикуляр до

перетину ним лінії ВЕ, яка проведена під кутом  $\beta_2$  до лінії ОА. Точка перетину Е використовується як центр, з якого через точки А та В проводимо дугу, яка і є профілем лопатки. Товщина лопатки  $q$  обирається або постійною, або більш тонкою по краях і зі стовщенням посередині. Ця товщина повинна обиратися такою, щоб коефіцієнт стискування перетину лопаток  $k_1$  не перевищував 1,1...1,15. Останній є відношенням площини прохідного перетину потоку без врахування товщини лопаток до площини прохідного перетину з урахуванням товщини лопаток. Тоді товщину лопаток  $q$  можна визначити з такого співвідношення:

$$k_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot b_1}{\pi \cdot D_1 \cdot b_1 - z \cdot q_u \cdot b_1} = \frac{1}{1 - \frac{q_u}{t}} = \frac{t}{t - q_u}, \quad (3.27)$$

де  $t = \pi D_0 / z$  – крок лопаток колеса насосу, мм;

$z$  – кількість лопаток;

$q_u$  – товщина лопаток у циліндричному перерізі, мм.

Товщину лопатки у нормалі до середній лінії можна визначити по формулі:

$$q = (t - t / k_1) \sin \beta_1. \quad (3.28)$$

Отримана розрахунком товщина лопатки дає змогу скоректувати її по міркуваннях технології виготовлення.

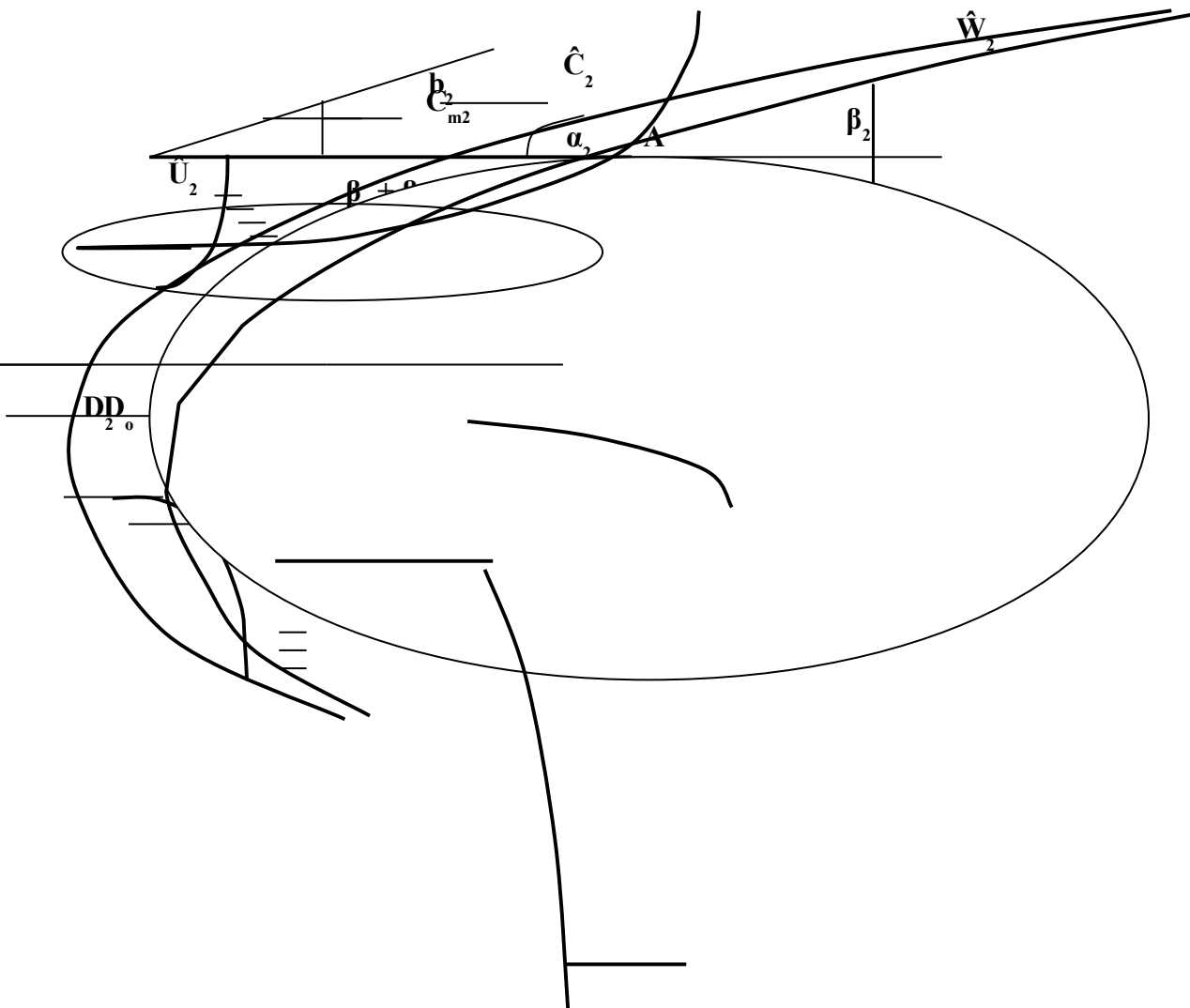


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема колеса відцентрового водяного насоса

## 4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ ПО СИСТЕМАХ ЗМАЩУВАННЯ

### 4.1 Система змащування

Система змащування повинна забезпечувати безперервну подачу мастила до деталей, які знаходяться в терті, одночасно відводячи від них тепло. Крім того, система змащування також

повинна забезпечувати охолодження поршнів, фільтрацію і попереднє заповнення дизеля мастилом під тиском.

Система змащування транспортних дизелів циркуляційна, під тиском, скомпонована на дизелі. У систему змащування, як правило, входять масляні насоси, фільтри мастила, охолоджувач мастила (у форсованих дизелях), колектор забору мастила з картера (або з маслобака в дизелях із сухим картером), підвідний масляний колектор, а також трубки подачі мастила до вузлів дизеля, що потребують змащування і охолодження.

Мастило, яке циркулює в дизелі, заповнюється в мастилозбірник у картері, якщо дизель має мокрий картер, або у маслобак, якщо дизель зроблено з сухим картером.

Мастилозбірник тепловозних і стаціонарних середньошвидкісних дизелів, як правило, складається з двох ємностей: холодного мастила і гарячого мастила. Із ємності холодного мастила насос забирає мастило і накачує його в систему змащування до вузлів тертя і на охолодження поршнів, після чого мастило зливається в ємність гарячого мастила. Ємності холодного і гарячого мастила утворені за рахунок встановленої в картері подовжньої перегородки. Ємність холодного мастила закривається зверху кришками, які виключають потрапляння в неї гарячого мастила. У ємності гарячого мастила встановлено сітки – гасники піни. Із ємності гарячого мастила насос через охолоджувач подає мастило в ємність холодного мастила.

У системі є редуційний клапан, через який частина мастила скидається в мастилозбірник при підвищенні тиску перед клапаном вище допустимого (0,7...0,8 МПа).

Фільтрація забезпечується повнопотоковим фільтром грубого очищення мастила пластинчасто-щільового типу. Крім того, у системі мають бути фільтри тонкого очищення, через які проходить не все мастило, а тільки 4...10 %. Додатково може використовуватися очищення мастила (до 10 %) відцентровими фільтрами. Останні мають у власній системі окремі насоси, у яких тиск мастила забезпечується до 1 МПа.

Для покращення моторних якостей мастила може бути передбачено установлення гідродинамічного диспергатора.

Масляний насос подає мастило по трубі з ємності холодного мастила через патрубок до фільтра грубого очищення.

Після проходження через фільтруючі елементи мастило поступає в підвідний масляний колектор. З метою запобігання занадто високого підвищення тиску мастила при запуску дизеля, а також при забрудненні масляного фільтра в системі слід передбачити редуційний клапан, через який скидається частина мастила в мастилозбірник.

Із підвідного колектора мастило підводиться до корінних опор колінчатого вала і по свердловинах у колінчатому валі подається до шатунних шийок для змащування корінних і шатунних підшипників.

Потім мастило з шатуна поступає на змащування втулок у верхніх головках шатунів і на охолодження поршнів.



Після охолодження поршнів і змащування вузлів кривошипно-шатунного механізму мастило стікає в картер у гарячу ємність мастилозбірника. Дзеркала гільз циліндрів змащуються мастилом, що розприскується при обертанні колінчатого вала і руху шатунів.

Окремо мастило підводиться до опор розподільних валів, потрапляє у внутрішні ємності валів, звідки мастило поступає на змащування всіх підшипників.

По окремих колекторах мастило подається до клапанних і важільних механізмів кришок циліндрів. По висвердлених отворах в осі важеля мастило поступає на змащування деталей привода клапанів, далі воно витікає з корпусів важелів по кожухах штанг у ємності штовхачів, змащує штовхачі привода клапанів і паливних насосів, пари “ролик-кулачок” штовхачів і розподільного вала і збирається в мастилозбірник дизеля.

У системі змащування повинно бути реле тиску мастила. Також передбачено штуцер для підключення манометра, який контролює тиск мастила у верхньому колекторі. Реле тиску призначено для скидання навантаження і зупинки двигуна при потраплянні тиску мастила нижче допустимого рівня (як правило, нижче 0,3 МПа).

Продуктивність масляного насоса відцентрового фільтра при номінальній частоті обертів дизеля завишає пропускну спроможність відцентрових фільтрів і диспергатора. Для виключення підвищення тиску мастила після масляного насоса для відцентрового фільтра більше 1 МПа передбачено

розвантажувальний клапан, через який надлишок мастила скидається в головну магістраль. На трубі відведення мастила від відцентрових фільтрів встановлено розвантажувальний клапан, який забезпечує потрібний тиск мастила на вході у відцентрові фільтри на всіх режимах роботи дизеля по частоті обертів.

Мастило, яке відводиться від підшипників турбокомпресора, підводиться до мастилозбірника і через нього скидається в картер через трубу, яка вварена в кронштейн турбокомпресора. Мастилозбірник має прозорі стінки, що дозволяє контролювати злив мастила з кожного підшипника турбокомпресора.

Передпускове заповнення дизеля мастилом здійснюється від агрегату з електроприводом. Насос агрегату подає мастило через трубу зі зворотним клапаном у корпус фільтра мастила, звідки по масляному трубопроводу воно поступає до підшипників колінчатого вала і до інших вузлів тертя.

## **4.2 Масляний насос**

Масляні насоси забезпечують циркуляцію масла в системах змащування і охолодження мастилом. Вони встановлені на редукторі привода агрегатів і приводяться в дію при обертанні нижнього вала редуктора через зубчатий привод, який насаджений на шліцах ведучої шестірні. Масляні насоси за конструкцією є насосами шестерного типу.

Насос складається з таких елементів: корпус, ведучі і ведені шестірні, які спираються цапфами на підшипники, поршні

розвантажувального пристрою, які теж спираються на підшипники з кришками.

Мастило заповнює впадини між зубцями шестірні і переноситься при роботі насоса з ємності всмоктування в ємність напірну, звідки поступає в систему змащування. Поршень розвантажувального пристрою урівноважує осьове зусилля ведучої шестірні, яка направлена від привода насоса, тим самим передбачено підвищений знос торця шестірні і зовнішньої планки.

Розвантаження досягається за рахунок тиску мастила, яке поступає із напірної ємності по свердловинах у планці і кришці на поршень розвантажувального пристрою. Мастило, яке потрапляє в ємність кришки, зливається в коробку привода насосів, а далі в раму дизеля через дірки в планці і корпусі.

У корпусі насоса може бути передбачений редукційний клапан, який при підвищенні тиску в напірній порожнині вище 0,6...0,7 МПа перепускає частину мастила в ємність всмоктування.

### **4.3 Розрахунок масляної системи та масляного насоса**

Масляні системи всіх тепловозних двигунів виконані циркуляційними проточними. Змащування підшипників у них виконується під тиском, а деталей ЦПГ – розпилюванням

мастила, що забезпечує високу надійність змащування та інтенсивне тепловідведення від деталей.

Необхідна кількість мастила, яка витрачається через двигун в одиницю часу, залежить від циклу та розміру пар, які труться між собою, величини поверхні вузлів, омитих мастилом, та інтенсивністю тепловідведення від охолодження поршнів.

Теоретично ця величина визначається величиною тепловідведення в мастило, яка дорівнює сумі двох додатків:

$$Q_{mp} + Q_n, \quad (4.1)$$

де  $Q_{mp}$  – теплота, еквівалентна потужності тертя;

$Q_n$  – теплота, віддана мастилу нагрітими металевими поверхнями.

Вказані фактори не піддаються чіткому розрахунку і тому для визначення тепловіддачі в мастило користуються приблизними методами, кВт:

$$Q_m = \frac{q_m \cdot V_{\Gamma} \cdot C^p}{3600} \quad (4.2)$$

де  $q_m$  – частка теплоти, яка введена в циліндри двигуна з паливом, витрачена в мастило;

$V_{\Gamma}$  – годинна витрата палива двигуном;

$Q_n^p$  – низова теплота згорання робочої маси дизельного палива, кДж/кг.

Годинна витрата палива, кг/год,

$$B_{\Gamma} = g_e \cdot N_e, \text{ кг/год} \quad , \quad (4.3)$$

де  $g_e$  – питома ефективна витрата палива, кг/(кВт·год);

$N_e$  – ефективна потужність двигуна, кВт.

Циркуляційна витрата мастила через двигун може бути визначена за умови задавання величин перепаду температур після  $\delta t_m$  на масляному холодильнику тепловоза, кг/с,

$$G_M = \frac{Q_M}{C_{pm} \cdot \delta t_m \cdot \eta_{ном}}, \quad (4.4)$$

де  $C_{pm}$  – середня ізобарна теплоємність мастила при середній температурі;

$\delta t_m$  – перепад температур мастила на масляному холодильнику (10...12 °С).

Визначимо середню температуру масла:

$$t_{m\text{ ср}} = \frac{t_{M}^{\prime\prime} + t_{M}^{\prime}}{2}, \quad (4.5)$$

де  $t_{M}^{\prime\prime}$  – температура мастила на виході з дизеля;

$t_{M}^{\prime}$  – температура мастила на вході в дизель (за інструкцією з експлуатації дизеля).

При  $t_{m\text{ ср}}^0$  визначаємо за довідником  $C_{pt, \text{кДж/кг}\cdot\text{К}}$ .

У зв'язку з тим, що шестірний масляний насос має погану герметичність між ємностями нагнітання та всмоктування, розрахункову витрату мастила  $G_{mp}$  приймаємо в 2...3 рази вищою, ніж теоретичну, за формулою (4.4):

$$G_{mp} = (2...3) \cdot G_M. \quad (4.6)$$

Об'ємна циркуляційна витрата мастила через двигун,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$V_{mp} = \frac{G_{mp}}{\rho_M}, \quad (4.7)$$

де  $G_{mp}$  – розрахункова витрата мастила;

$\rho_M$  – густина мастила, при  $t_{m\text{ ср}}$ .

Далі ведеться розрахунок масляного насоса.

Потужність, витрачена на привод насоса, кВт,

$$N_H = \frac{V_{mp} \cdot p_M}{\eta_{mex} \cdot \eta_{Hпод}}, \text{ кЕ} \quad (4.8)$$

де  $V_{mp}$  – з формули (4.7);

$p_M$  – тиск мастила, кПа;

$\eta_{mex}$  – механічний ККД насоса, який дорівнює 0,85 – 0,9 і враховує втрати потужності на тертя та гідравлічний опір;

$\eta_{Hпод}$  – об'ємний коефіцієнт подачі, 0,7 ÷ 0,8.

Розміри шестірні насоса визначаються враховуючи те, що об'єм впадин дорівнює об'єму зуба шестірні, висота зуба дорівнює  $h=2,25m$ , а кожна шестірня подає мастило кожними впадинами.

Діаметр початкового кола, мм,

$$D_0 = m \cdot z, \text{ м} \quad (4.9)$$

де  $m$  – прийнятий модуль зуба;

$z$  – кількість зубів.

Частота обертання зубчатого колеса,  $\text{хв}^{-1}$ ,

$$n = \frac{60 \cdot U}{\pi \cdot (D_0 + 2m)}, \quad (4.10)$$

де  $U$  – радіальна швидкість колеса (приймається  $8 \div 10$  м/с);

$D_0$  – з формули (4.9);

$m$  – модуль зуба.

Довжина зуба, мм,

$$b = \frac{V_{mp} \cdot 10^9}{\eta_{H под} \cdot \pi \cdot n \cdot D_0 \cdot h \cdot 60}, \quad (4.11)$$

де  $V_{mp}$  – з формули (4.7);

$h$  – висота зуба, знаходиться як  $2,25m$ ;

$n$  – з формули (4.10);

$\eta_{H под}$  – об'ємний коефіцієнт подачі.

За даними розрахунку виконуємо креслення масляного насоса.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

### Основна

- 1 Ливенцев Ф.Л. Силовые установки с двигателями внутреннего сгорания. – Л.: Машиностроение, 1969. – 320 с.



- 2 Россиевский Г.И. Электрические станции с двигателями внутреннего сгорания. – М.: ГОСЭНЕРГОИЗДАТ, 1954. – 200 с.
- 3 Кузьмич В.Д., Бородулин И.П., Пахомов Е.А. и др. Тепловозы. – М.: Транспорт, 1982. – 32 с.
- 4 Водолажченко В.В., Куриц А.А., Симсон А.Э. и др. Проектирование тепловозных двигателей. – М.: Транспорт, 1972. – 223 с.
- 5 Хазен М.М., Иванов И.И., Аранович С.С. Теплосиловое хозяйство. – М.: Транспорт, 1964. – 241 с.
- 6 Хомич А.З. Эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей. – М.: Транспорт, 1979. – 144 с.
- 7 Хомич А.З. Топливная эффективность и вспомогательные режимы тепловозных дизелей. – М.: Транспорт, 1987. – 271 с.
- 8 Малинов М.С., Куликов Ю.А., Черток Е.Б. Охлаждающие устройства тепловозов. – М.: Транспорт, 1962. – 259 с.

### **Додаткова**

- 9 Симсон А.Э., Хомич А.З., Куриц А.А. и др. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания. – М.: Транспорт, 1987. – 356 с.
- 10 Двигатели внутреннего сгорания / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 360 с.
- 11 Хомич А.З., Симсон А.Э., Ерощенко С.А. и др. Методические указания к самостоятельной работе по расчету на ЭВМ среднеэксплуатационного расхода топлива при установившихся режимах и переходных процессах тепловозных дизелей. – Харьков: ХИИТ, 1987. – 32 с.
- 12 Исаакян О.Н., Гурский П.А. Тяговые расчеты. – М.: ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ, 1959. – 359 с.
- 13 Подвижной состав и тяга поездов / Под ред. В.В. Деева и Н.А. Фурфрянского. – М.: Транспорт, 1979. – 251 с.
- 14 Дизельные поезда. Устройство, эксплуатация, ремонт и устранение неисправностей / А.П. Палкин, Б.М. Лернер, В.П. Лебедев и др. – М.: Транспорт, 1970. – 359 с.
- 15 Тепловоз 2ТЭ116 / С.П. Филонов, А.И. Гибалов, В.Е. Быковский и др. – М.: Транспорт, 1991. – 334 с.

- 16 Тепловозы 2ТЭ10М, 3ТЭ10М: Устройство и работа / С.П. Филонов, А.Е. Зиборов, В.В. Ренкунас. – М.: Транспорт, 1986. – 287 с.
- 17 Тепловоз 2ТЭ10В. Руководство по эксплуатации и обслуживанию / С.П. Филонов, А.Е. Зиборов, П.К. Решетняк и др. – М.: Транспорт, 1975. – 432 с.
- 18 Тепловоз 2ТЭ10Л / В.Р. Степанов, В.А. Береза, В.Е. Верхогляд и др. – М.: Транспорт, 1974. – 318 с.
- 19 Шишкин К.А., Гуревич А.Н., Суржин С.И. и др. Общие сведения о тепловозе ТЭЗ. Механическое оборудование силовой установки. – М.: Транспорт, 1973. – 383 с.
- 20 Тепловоз ТЭЗ / К.А. Шишкин, А.Н. Гуревич, А.Д. Степанов и др. – М.: Транспорт, 1976. – 384 с.
- 21 Тепловоз М62. Руководство по эксплуатации и обслуживанию / С.П. Филонов, В.И. Бидненко, И.А. Черноусов и др. – М.: Транспорт, 1974. – 304 с.
- 22 Тепловоз ТЭП60. Руководство по эксплуатации и обслуживанию / М.С. Малинов, М.Г. Шифрин, В.М. Басалаев и др. – М.: Транспорт, 1966. – 260 с.
- 23 Васильев А.В., Жилин Г.А., Лысаченко В.П. и др. Тепловоз ТЭП60. – М.: Транспорт, 1975. – 384 с.
- 24 Костюк И.Я., Нотик З.Х. Механическое оборудование тепловоза ЧМЭЗ. – М.: Транспорт, 1984. – 136 с.
- 25 Тепловозы ТЭМ1 и ТЭМ2 / П.М. Аронов, В.А. Бажинов, Д.А. Батурова и др. – М.: Транспорт, 1978. – 278 с.
- 26 Тепловоз ТЭМ2: руководство по эксплуатации и обслуживанию. – М.: Транспорт, 1983. – 239 с.
- 27 Тепловоз ТЭМ7 / А.В. Балашов, И.И. Зеленев, Ю.М. Козлов и др. – М.: Транспорт, 1989. – 295 с.
- 28 Тепловоз ТГМ3. Инструкция по эксплуатации и обслуживанию. – М.: ЦБТИ, 1965. – 208 с.
- 29 Тепловозы ТГМ4 и ТГМ4А: устройство и работа / М.А. Михальчук, В.Н. Логунов, А.И. Башкиров и др. – М.: Транспорт, 1982. – 287 с.
- 30 Тепловозы ТГМ4Б, ТГМ4БЛ: руководство по эксплуатации и обслуживанию / Людиновский тепловозостроительный завод. – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.

- 31 Тепловоз ТГМ6А: руководство по эксплуатации и обслуживанию / Людиновский тепловозостроительный завод. – М.: Транспорт, 1984. – 230 с.
- 32 Устройство тепловоза ТГМ6А / В.И. Логинов, В.Г. Смагин, Ю.И. Доронин и др. – М.: Транспорт, 1989. – 320 с.
- 33 Тепловоз ТГМ23 / В.Н. Ощехин, Н.Л. Торбочкин, В.И. Лемтюгов и др. – М.: Транспорт, 1973. – 198 с.
- 34 Розенблит Г.Б., Михайлов И.Д., Перелет В.И., Мокриденко Г.П. Теплосиловые и теплопотребляющие установки железнодорожного транспорта: Учеб. пособие. – Харьков: ХИИТ, 1986. – 86 с.
- 35 Хомич А.З., Тупицын О.И., Симсон А.Э. и др. Экономия топлива и теплотехническая модернизация тепловозов. – М.: Транспорт, 1975. – 262 с.