

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Український державний університет  
науки і технологій**

---

Кафедра «Локомотиви»

*В авторській редакції*

**ТЕОРІЯ ТА КОНСТРУКЦІЯ ЛОКОМОТИВІВ.  
ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЗА**

Навчально-методичні рекомендації  
до курсового та дипломного проектування

*Електронне видання*

ДНІПРО  
2025

Упорядники:  
*Д. В. Бобирь, Д. М. Кислий*

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми  
273.1.06 «Локомотиви та локомотивне господарство»  
Протокол № 1 від 26.09.2024

Т 33 Теорія та конструкція локомотивів. Проектування техніко-економічних характеристик : навчально-методичні рекомендації до курсового та дипломного проектування / упоряд. Д. В. Бобирь, Д. М. Кислий ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 34 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами всіх форм навчання спеціальності 273 «Залізничний транспорт» ОПП «Локомотиви та локомотивне господарство» під час курсового проектування з дисципліни «Теорія та конструкція локомотивів» розділ «Проектування техніко-економічних характеристик» та виконання кваліфікаційної роботи.

Навчально-методичні рекомендації містять необхідні вихідні дані та методику проектування основних техніко-економічних характеристик тепловоза з електричною передачею.

## Зміст

Вступ .....	4
ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ .....	5
1. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВОЗА .....	5
2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ОСЬОВОГО РЕДУКТОРА ....	8
3. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕД .....	10
4. РОЗРАХУНОК ТА ПОБУДОВА ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІСНО-МОТОРНОГО БЛОКА (КМБ).....	12
5. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ТЯГОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЗА (ОДНІЄЇ СЕКЦІЇ) .....	13
6. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	16
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК .....	17
Додатки.....	19

## Вступ

Основним завданням транспорту є своєчасне та якісне задоволення потреб народного господарства та населення в перевезеннях.

Україна має достатньо розвинену систему залізничного транспорту. Залізничний транспорт України є провідною галуззю в дорожньо-транспортному комплексі країни, який забезпечує 82 % вантажних і майже 50 % пасажирських перевезень, здійснюваних всіма видами транспорту.

Експлуатаційна мережа залізниць України складає майже 22 тис км з яких 45 % електрифіковано. За обсягами вантажних перевезень залізниці України займають четверте місце на Євразійському континенті. Вантажонапруженість українських залізниць (річний обсяг перевезень на один кілометр) в 3–5 разів перевищує відповідний показник розвинених європейських країн [1].

Правильне розуміння принципів проєктування вузлів локомотивів, теоретичних засад, методів, взаємодії і технічних вимог до них являють собою необхідні умови для успішної роботи інженера-механіка під час проєктування, виробництва, організації технічної експлуатації, технічного обслуговування та ремонту локомотивів.

Мета навчально-методичних рекомендацій полягає у формуванні в студентів системи компетенцій для розв'язання професійних завдань з ефективного проєктування локомотивів, опанування методики та набуття навиків самостійного вирішення завдань з проєктування техніко-економічних характеристик тепловоза з електричною передачею.

Видання сприяє досягненню таких результатів навчання:

- відтворювати термінологію з теорії та конструкції локомотивів;
- ідентифікувати тяговий рухомий склад, його складальні одиниці, системи та агрегати;
- обчислювати основні характеристики складальних одиниць тягового рухомого складу, його систем та агрегатів;
- досліджувати характеристики складальних одиниць тягового рухомого складу, його систем та агрегатів;
- виконувати вписування локомотива у криві ділянки колії;
- аналізувати вплив параметрів окремих складальних одиниць на техніко-економічні характеристики тягового рухомого складу;
- порівнювати та співставляти конструкцію, показники та характеристики складальних одиниць локомотива, його систем та агрегатів;
- виконувати структурний та якісний аналіз характеристик певних систем, агрегатів, тягової та техніко-економічних характеристик локомотива;
- використовуючи певні методики виконувати ескізне проєктування певних систем, агрегатів, тягової та техніко-економічних характеристик локомотива.

## ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Пояснювальна записка та креслення повинні відповідати вимогам ЕСКД. Виконуючи курсовий проєкт (КП), необхідно враховувати такі загальні вимоги:

- КП виконують на стандартних аркушах паперу (розміром 210×297 мм);
- пояснювальну записку виконують друкованим способом або акуратним розбірливим почерком без скорочення слів (крім традиційно прийнятих);
- розрахункові формули наводять спочатку в загальному вигляді з використанням літерних символів; далі надають розшифровку літерних символів з вказівкою одиниць виміру для величин, що мають вимір; потім у формулу підставляють числові значення величин та проставляють результат;
- у разі використання необхідних розрахунків величин параметрів, таблиць, формул, довідкових матеріалів посилаються на джерело інформації; літературу, яка була використана під час роботи над КП, наводять наприкінці роботи (автор, назва книги, місце видання, рік видання та кількість сторінок);
- матеріал КП подають з урахуванням прийнятої в технічній літературі термінології;
- графіки, схеми, ескізи, креслення виконують на міліметровому папері й вкладають поміж аркушами КП після першого згадування в тексті. Не дозволяється використовувати в КП ілюстрації, які вирізані або скопійовані з друкованих джерел;
- аркуші КП, ілюстрації, таблиці та графіки обов'язково нумерують;
- структура пояснювальної записки КП така:
  - а) титульний аркуш (перша сторінка);
  - б) завдання на КП;
  - в) зміст;
  - г) розділи КП;
  - д) перелік літератури, що була використана під час роботи над КП;
- КП, виконаний без урахування наведених вимог, а також не за своїми даними, не перевіряється і до захисту не допускається.

Виконуючи КП, студент повинен з розумінням використовувати ті чи інші формули, робити висновки після кожного розділу. Ці методичні вказівки не звільняють студента від необхідності глибоко та уважно розібратися в питаннях, над якими він працює.

### 1. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛОВОЗА

Дотична потужність, кВт, тепловоза

$$N_k = \frac{F_{кр} \cdot V_p}{3,6}, \quad (1)$$

де  $F_{кр}$  – розрахункова дотична сила тяги, кН;

$V_p$  – розрахункова швидкість, км/год.

Потрібна ефективна потужність дизеля, кВт,

$$N'_e = \frac{N_k}{\eta_{\Pi} \cdot \beta_{\text{доп}} \cdot n_c}, \quad (2)$$

де  $\eta_{\Pi}$  – ККД передачі;

$\beta_{\text{доп}}$  – коефіцієнт, який враховує витрату енергії на привод допоміжних агрегатів тепловоза;

$n_c$  – кількість секцій у складі тепловоза.

ККД електричної передачі:

– постійного струму

$$\eta_{\Pi} = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{м}}; \quad (3a)$$

– змінно-постійного струму

$$\eta_{\Pi} = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{в.у.}}, \quad (3б)$$

де  $\eta_{\Gamma}$ ,  $\eta_{\text{д}}$ ,  $\eta_{\text{м}}$ ,  $\eta_{\text{в.у.}}$  – ККД відповідно тягового генератора, тягового електродвигуна (ТЕД), тягового осьового редуктора та випрямної установки; для розрахунків можна прийняти:  $\eta_{\Gamma} = 0,93-0,95$ ;  $\eta_{\text{д}} = 0,85-0,88$ ;  $\eta_{\text{м}} = 0,97-0,98$ ;  $\eta_{\text{в.у.}} = 0,99$  [2].

Коефіцієнт  $\beta_{\text{доп}}$  визначається з виразу:

$$\beta_{\text{доп}} = \frac{N'_e - \sum N_{\text{доп}}}{N'_e}, \quad (4)$$

де  $\sum N_{\text{доп}}$  – сумарні витрати потужності на привод допоміжних агрегатів, кВт; приймаються згідно з даними табл.1 по базовому тепловозу.

Таблиця 1

**Сумарні витрати потужності на привод допоміжних агрегатів, кВт**

Серія базового тепловоза	ТЕМ2	2ТЕ10Л	ТЕМ7	ТЕ3	2ТЕ10В	М62
$\sum N_{\text{доп}}$	105	260	215	140	260	130
Серія базового тепловоза	2ТЕ116	ТЕП60	ТЕП10	ТЕП70	2ТЕ121	2ТЕ40
$\sum N_{\text{доп}}$	225	265	260	285	315	260

Для визначення  $N'_e$  та  $\beta_{\text{доп}}$  необхідно скласти та розв'язати систему рівнянь з виразів (2) та (4).

Потрібна потужність, кВт, тягового електродвигуна проєктного тепловоза

$$P'_d = \frac{N_k}{\eta_M \cdot k}, \quad (5)$$

де  $k$  – кількість ТЕД на тепловозі.

На підставі величини потужності ТЕД, що розрахована за формулою (5), обрати з додатка А тип електродвигуна, потужність якого  $P_d$  близька до потрібної  $P'_d$ . Дані занести в табл. 2.

Таблиця 2

### Параметри ТЕД

Параметр	Значення
1. Тип ТЕД	
2. Потужність ТЕД $P_d$ , кВт	
3. Частота обертання вала ТЕД, $\text{хв}^{-1}$ : – тривалого режиму $n_{d\infty}$ – максимальна $n_{dmax}$	
5. ККД $\eta_d$ , %	
6. Обертальний момент $M_{d\infty}$ , Н·м	
7. Маса, кг	

Мінімальна зчїпна вага  $P_{зч}$ , кН, одної секції проектного тепловоза визначається за умови його руху по розрахунковому підйому зі сталою швидкістю без буксування

$$P_{зч} = \frac{3,6 \cdot N_k}{\eta_B \cdot \psi_p \cdot V_p \cdot n_c}, \quad (6)$$

де  $\eta_B$  – коефіцієнт використання зчїпної ваги, значення якого залежить від конструкції екіпажної частини тепловоза та розташування ТЕД:

$\eta_B = 0,78$  – для тепловозів ТЕМ1, ТЕМ2, ТЕ3, 2ТЕ10Л, ТЕ40, М62;

$\eta_B = 0,88$  – для тепловозів 2ТЕ10В, 2ТЕ10М, 2ТЕ116, 2ТЕ121;

$\eta_B = 0,99$  – для тепловозів ТЕМ7, ТЕП60, ТЕП70;

$\psi_p$  – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою при розрахунковій швидкості, який визначається згідно з правилами тягових розрахунків [2].

Отримане значення  $P_{зч}$  необхідно перевірити на виконання умови

$$\frac{P_{зч}}{k} \leq q, \quad (7)$$

де  $q$  – осьове навантаження від колісної пари на рейки проектного тепловоза, кН.

За значенням  $N'_e$  з додатка Б обирається тип тепловозного дизеля й тягового генератора, дані зводяться в табл. 3 і 4.

Таблиця 3

### Параметри дизеля

Параметр	Значення
1. Марка дизеля	
2. Номінальна ефективна потужність $N_e$ , кВт	
3. Номінальна частота обертання колінчастого вала $n$ , хв <sup>-1</sup>	
4. Питома ефективна витрата палива $b_e$ , кг/(кВт·год)	

Таблиця 4

### Параметри генератора

Параметр	Значення
1. Марка генератора	
2. Потужність $P_G$ , кВт	
3. Частота обертання якоря $n_G$ , хв <sup>-1</sup>	
4. Маса, кг	

### Засоби самоконтролю

1. Від яких параметрів тепловоза залежить його потужність?
2. Яким чином визначається потрібна ефективна потужність дизеля?
3. Від чого залежить мінімальна зчипна вага тепловоза?

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ОСЬОВОГО РЕДУКТОРА

Основним параметром тягового редуктора тепловоза є передаточне число, яке визначається після вибору ТЕД та діаметра рушійних коліс таким чином.

У першому наближенні передаточне число  $\mu_1$  визначається за умови забезпечення заданої швидкості  $V_p$  на розрахунковому підйомі

$$\mu_1 = \frac{F_{D\infty} \cdot D_k}{2M_{D\infty}}, \quad (8)$$

де  $F_{D\infty}$  – тривала сила тяги одного колісно-моторного блока (КМБ), кН;

$D_k$  – діаметр рушійних коліс тепловоза за колом кочення, м;

$M_{D\infty}$  – момент обертання на валі якоря ТЕД у тривалому режимі, кН·м;

$$F_{д\infty} = \frac{F_{кр}}{\kappa}. \quad (9)$$

Тривалий момент  $M_{д\infty}$  на валі ТЕД визначають, виходячи з потужності  $P_{д}$  і частоти обертання якоря в тривалому режимі роботи ТЕД, обраного з додатка А, з урахуванням даних базового тепловоза

$$M_{д\infty} = 9,5 \frac{P_{д}}{n_{д\infty}}. \quad (10)$$

У другому наближенні передаточне число  $\mu_2$  визначається за умови, що при конструкційній швидкості руху тепловоза частота обертання якоря ТЕД не перевищує максимальної частоти обертання, встановленої заводом-виготівником  $n_{дmax}$  (див. дод. А)

$$\mu_2 = \frac{n_{дmax}}{n_{к}}, \quad (11)$$

де  $n_{к}$  – максимальна частота обертання коліс тепловоза,  $хв^{-1}$ .

$$n_{к} = \frac{1000 \cdot V_{к}}{60 \cdot \pi \cdot D_{к}}. \quad (12)$$

Остаточно передаточне число приймається таким, щоб довжина централі (відстань між осями вала якоря ТЕД і колісної пари) порівняно з аналогічним параметром базового тепловоза залишалася незмінною. Ця умова описується системою рівнянь

$$\begin{cases} A = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m}{2}; \\ \frac{z_2}{z_1} = \mu_1 \text{ або } \mu_2 \text{ (те, що менше),} \end{cases} \quad (13)$$

де  $A$  – довжина централі; для тепловозів ТЕП60 і ТЕП70 – 520 мм, для тепловозів інших серій – 468,8 мм [1];

$z_2$  – кількість зубців веденої шестерні (зубчастого колеса);

$z_1$  – кількість зубців ведучої шестерні;

$m$  – модуль зачеплення, приймається за значенням показника базового тепловоза згідно з даними додатка А.

Отримані значення  $z_1$  і  $z_2$  округлюються до цілого числа, а потім встановлюється остаточне розрахункове значення передаточного числа  $\mu_p$ . Бажано, щоб  $z_1$  і  $z_2$  мали парну та непарну кількість зубців.

Розрахункове значення передаточного числа  $\mu_p$  не повинно перевищувати частоти обертів, що допускається заводом-виготівником (див. дод. А), тобто

$$n_{д\max}^p \leq n_{д\max}, \quad (14)$$

де  $n_{д\max}^p$  – найбільша частота обертання вала якоря ТЕД при конструкційній швидкості руху проектного тепловоза,  $\text{хв}^{-1}$ .

$$n_{д\infty}^p = n_k \cdot \mu_p. \quad (15)$$

Якщо ця умова не виконується, необхідно коригувати  $\mu_p$  шляхом зміни кількості зубців шестерень при незмінній їхній сумі.

Розрахункова сила тяги тепловоза  $F_{кр}$ , що відповідає тривалому струму ТЕД, уточняється за остаточно прийнятим значенням  $\mu_p$

$$F_{кр} = \frac{2 \cdot M_{д\infty} \cdot \mu_p \cdot \kappa}{D_k}. \quad (16)$$

Відстань від нижньої частини кожуха до головки рейки  $\Delta$  повинна бути не меншою ніж 120–130 мм, що визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{D_k - (m \cdot z_2 + 2c)}{2} \geq 120\text{--}130 \text{ мм}, \quad (17)$$

де  $c = 18\text{--}25$  мм – відстань від торця зубців веденої шестерні (зубчастого колеса) до нижньої поверхні кожуха.

#### Засоби самоконтролю

1. Що є основним параметром тягового редуктора тепловоза?
2. Яким чином визначається передаточне число тягового редуктора у першому наближенні?
3. Яким чином визначається передаточне число тягового редуктора у другому наближенні?
4. За якою умовою визначається передаточне число остаточно?

### 3. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕД

Електромеханічними характеристиками називають залежності обертального моменту на валу  $M_{д}$  і частоти обертання якоря  $n_{д}$  від сили струму навантаження  $I_{д}$  ТЕД:

$$M_{\text{д}} = f(I_{\text{д}}), \quad n_{\text{д}} = f(I_{\text{д}}).$$

Побудову електромеханічних характеристик ТЕД необхідно починати з вибору заводських характеристик двигуна, що близький за потужністю до значення  $P'_{\text{д}}$ , розрахованого за формулою (5).

Вибрані з додатка В характеристики необхідно перерахувати з урахуванням потрібної потужності ТЕД тепловоза, що проєктується, та ступеня послаблення магнітного поля. В основі методу перерахування лежить положення, відповідно до якого на різних режимах ККД різноманітних за потужністю двигунів практично однакові та становлять 0,91–0,92 [2]. Характер залежностей однаковий, змінюється тільки числове значення величини обертального моменту та частоти обертання.

Для побудови електромеханічних характеристик ТЕД використовують співвідношення:

$$\frac{M_{\text{дп}}}{M_{\text{дб}}}, \quad \frac{n_{\text{дп}}}{n_{\text{дб}}}, \quad \frac{P_{\text{дп}}}{P_{\text{дб}}},$$

де індекси «п» і «б» позначають належність параметра відповідно до проєктного та базового тепловозів.

Оскільки

$$M_{\text{д}} = 9,5 \cdot \frac{P_{\text{д}}}{n_{\text{д}}}; \quad n_{\text{д}} = \frac{1000 \cdot V \cdot \mu_{\text{р}}}{60 \cdot \pi \cdot D_{\text{к}}}, \quad (18)$$

можна навести співвідношення величин обертальних моментів і частот обертання якорів ТЕД проєктного та базового тепловозів через відомі або раніше визначені параметри

$$\frac{M_{\text{дп}}}{M_{\text{дб}}} = \frac{P_{\text{дп}}}{P_{\text{дб}}} \cdot \frac{V_{\text{б}}}{V_{\text{п}}} \cdot \frac{\mu_{\text{б}}}{\mu_{\text{р}}} \cdot \frac{D_{\text{кп}}}{D_{\text{кб}}}; \quad \frac{n_{\text{дп}}}{n_{\text{дб}}} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{б}}} \cdot \frac{\mu_{\text{р}}}{\mu_{\text{б}}} \cdot \frac{D_{\text{кб}}}{D_{\text{кп}}}. \quad (19)$$

У результаті підставлення величин потужності, швидкості, передаточного відношення, діаметра коліс базового та проєктного тепловозів і подальших обчислень правих частин рівнянь (19) отримаємо

$$\frac{M_{\text{дп}}}{M_{\text{дб}}} = \bar{M}_{\text{д}}; \quad \frac{n_{\text{дп}}}{n_{\text{дб}}} = \bar{n}_{\text{д}}, \quad (20)$$

де  $\bar{M}_{\text{д}}$  і  $\bar{n}_{\text{д}}$  – постійні, які не враховують можливі зміни режимів послаблення магнітного поля ТЕД.

Для перерахування значень  $M_{\text{д}}$  і  $n_{\text{д}}$  з урахуванням заданих для проєктного тепловоза режимів ослаблення поля необхідно використовувати залежності

$$n_{\text{дп}} = \bar{n}_{\text{д}} \cdot \frac{\alpha_{\text{б}}}{\alpha_{\text{п}}} \cdot n_{\text{дб}}; \quad M_{\text{дп}} = \bar{M}_{\text{д}} \cdot \frac{\alpha_{\text{п}}}{\alpha_{\text{б}}} \cdot M_{\text{дб}}, \quad (21)$$

де  $\alpha_{\text{б}}$  і  $\alpha_{\text{п}}$  – ступінь ослаблення магнітного поля ТЕД відповідно базового і проєктного тепловозів.

Таким чином, обертальний момент на валу якоря ТЕД при більш глибокому послабленні магнітного поля зменшується, а частота обертання якоря зростає.

Послідовність перерахунку електромеханічних характеристик з урахуванням заданої глибини послаблення магнітного поля ТЕД така:

1) на обраних електромеханічних характеристиках ТЕД необхідно задатися декількома (не менше п'яти) значеннями сили струму  $I_{\text{д}}$ ;

2) знайти  $M_{\text{дб}}$  і  $n_{\text{дб}}$ , що відповідають прийнятим значенням  $I_{\text{д}}$ ;

3) послідовно визначити  $\bar{M}_{\text{д}}$ ,  $\frac{\alpha_{\text{п}}}{\alpha_{\text{б}}}$  і  $M_{\text{дп}}$ , а потім  $\bar{n}_{\text{д}}$ ,  $\frac{\alpha_{\text{б}}}{\alpha_{\text{п}}}$ ,  $n_{\text{дп}}$  для кожного прийнятого значення струму  $I_{\text{д}}$ .

Результати розрахунку електромеханічних характеристик необхідно оформити у вигляді табл. 5.

Графічну побудову електромеханічних характеристик ТЕД проєктного тепловоза слід виконати згідно з вимогами ГОСТ 2.319-81.

На першому етапі розрахунку електромеханічних характеристик колісно-моторного блока приймається  $\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{б}}$ .

#### Засоби самоконтролю

1. *Що являють собою електромеханічні характеристики?*
2. *Для якого агрегату тепловоза розраховуються електромеханічні характеристики?*
3. *Як впливає послаблення магнітного поля ТЕД на обертальний момент та частоту обертання вала якоря?*

### **4. РОЗРАХУНОК ТА ПОБУДОВА ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛІСНО-МОТОРНОГО БЛОКА (КМБ)**

Електротяговими характеристиками називаються залежності дотичної сили тяги ( $F_{\text{д}}$ ) КМБ та швидкості руху тепловоза від струму навантаження ТЕД ( $I_{\text{д}}$ ). Ці характеристики будуються для сформованого колісно-моторного блока, який включає тяговий електродвигун, колісну пару та тяговий редуктор.

Електротягові характеристики колісно-моторного блока проєктного тепловоза слід розрахувати в такій послідовності:

1) задатися значеннями струму  $I_d$  для всіх трьох режимів роботи ТЕД (ПП – повне поле, ОП1 – перший ступінь ослаблення поля, ОП2 – другий ступінь ослаблення поля);

2) для обраних (не менше п'яти) значень струму  $I_d$  за електромеханічними характеристиками, що розраховані та побудовані раніше, знайти відповідні їм значення  $M_{дп}$  і  $n_{дп}$ ;

3) визначити значення  $F_{дп}$  і  $V_{дп}$ , використовуючи залежності:

$$F_{дп} = \frac{2 \cdot \mu_p \cdot M_{дп}}{D_k} \cdot \eta_M;$$
$$V_{дп} = \frac{60 \cdot \pi \cdot D_k \cdot n_{дп}}{1000 \cdot \mu_p}. \quad (22)$$

На першому етапі розрахунку електротягових характеристик прийняти  $\alpha_{п} = \alpha_6$ . Якщо в ході розрахунку швидкість не досягає заданого значення  $V_k$ , необхідно змінити величину  $\alpha_{п}$  для ОП2.

Результати розрахунку електротягових характеристик колісно-моторного блока оформити у вигляді табл. 6.

За результатами розрахунків накреслити електротягові характеристики колісно-моторного блока проектного тепловоза.

#### Засоби самоконтролю

1. Що являють собою електротягові характеристики?
2. Для якого агрегату тепловоза розраховуються електротягові характеристики?
3. Яка послідовність розрахунку електротягових характеристик?

### 5. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ТЯГОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЗА (ОДНІЄЇ СЕКЦІЇ)

Тяговою характеристикою тепловоза називається графічна залежність дотичної сили тяги тепловоза  $F_k$  від швидкості його руху  $V$  при заданій (фіксованій), бажано повній та незмінній, потужності силової установки

$$F_k = f(V).$$

Тягова характеристика розраховується та будується на підставі побудованих раніше електротягових характеристик КМБ.

Таблиця 5

**Результати розрахунку електромеханічних характеристик ТЕД**

$I_{д, А}$	$\bar{M}$	$\bar{n}$	Повне поле (ПП)				Перший ступінь ослаблення поля (ОП1)				Другий ступінь ослаблення поля (ОП2)			
			$\alpha_{\sigma} = 100 \%$		$\alpha_{\Pi} = 100 \%$		$\alpha_{\sigma} = \dots$		$\alpha_{\Pi} = \dots$		$\alpha_{\sigma} = \dots$		$\alpha_{\Pi} = \dots$	
			$M_{дб}, Н \cdot м$	$n_{дб}, хв^{-1}$	$M_{дп}, Н \cdot м$	$n_{дп}, хв^{-1}$	$M_{дб}, Н \cdot м$	$n_{дб}, хв^{-1}$	$M_{дп}, Н \cdot м$	$n_{дп}, хв^{-1}$	$M_{дб}, Н \cdot м$	$n_{дб}, хв^{-1}$	$M_{дп}, Н \cdot м$	$n_{дп}, хв^{-1}$
$I_1$														
$\vdots$														
$I_i$														

Таблиця 6

**Результати розрахунку електротягових характеристик КМБ**

Режим роботи ТЕД													
ПП ( $\alpha = 100 \%$ )					ОП1 ( $\alpha = \dots$ )				ОП2 ( $\alpha = \dots$ )				
$I_{д, А}$	$M_{дп}, кН \cdot м$	$F_{дп}, кН$	$n_{дп}, хв^{-1}$	$V_{дп}, км/год$	$M_{дп}, кН \cdot м$	$F_{дп}, кН$	$n_{дп}, хв^{-1}$	$V_{дп}, км/год$	$M_{дп}, кН \cdot м$	$F_{дп}, кН$	$n_{дп}, хв^{-1}$	$V_{дп}, км/год$	
$I_1$													
$\vdots$													
$I_i$													

За кривою швидкості  $V = f(I_D)$  для кожного значення швидкості тепловоза визначається значення струму  $I_D$ , а за кривою  $F_D = f(I_D)$  – відповідна цьому струму сила тяги одного колісно-моторного блока  $F_D$ .

Сила тяги секції тепловоза

$$F_K = \frac{F_D \cdot \kappa}{n_c}. \quad (23)$$

Для визначення швидкості переходу з одного режиму роботи ТЕД на інший використовується співвідношення:

$$V_{II} = V_{\text{б}} \cdot \frac{\mu_{\text{б}}}{\mu_{\text{р}}}, \quad (24)$$

де  $V_{II}$  і  $V_{\text{б}}$  – швидкість переходу з одного режиму на наступний відповідно проєктного та базового тепловозів, км/год;

$\mu_{\text{р}}$  і  $\mu_{\text{б}}$  – передаточні числа тягового осьового редуктора відповідно проєктного та базового тепловозів.

Тягову характеристику однієї секції проєктного тепловоза побудувати для трьох режимів роботи ТЕД. Результати розрахунку необхідно оформити у вигляді табл. 7.

Таблиця 7

**Результати розрахунку тягової характеристики тепловоза**

$V$ , км/год	Режим роботи ТЕД								
	ПП ( $\alpha = 100\%$ )			ОП1 ( $\alpha = \dots$ )			ОП2 ( $\alpha = \dots$ )		
	$I_D$ , А	$F_{\text{ДП}}$ , кН	$F_K$ , кН	$I_D$ , А	$F_{\text{ДП}}$ , кН	$F_K$ , кН	$I_D$ , А	$F_{\text{ДП}}$ , кН	$F_K$ , кН
$V_1$									
$V_2$									
$\vdots$									
$V_K$									

Правильно побудовані електротягові характеристики КМБ і розраховані швидкості переходів з одного режиму роботи ТЕД на наступний забезпечують тяговій характеристиці тепловоза вигляд рівнобічної гіперболи без різкої зміни сили тяги локомотива в момент цих переходів.

На тягову характеристику нанести обмеження сили тяги за тривалим струмом ТЕД і пусковим струмом тягового генератора, а також за зчепленням коліс локомотива з рейками.

Для нанесення обмеження за тривалим струмом ТЕД необхідно:

1) визначити за значенням тривалого струму обраного тягового генератора значення тривалого струму ТЕД  $I_{д\infty}$  з урахуванням способу з'єднання їх в силовому електричному колі передачі тепловоза

$$I_{д\infty} = \frac{I_{Г\infty}}{k_{Г}},$$

де  $k_{Г}$  – кількість паралельно з'єднаних ТЕД або гілок ТЕД.

2) за електротяговими характеристиками КМБ проектного тепловоза та значенням  $I_{д\infty}$  знайти силу тяги  $F_{д\infty}$  одного КМБ;

3) визначити силу тяги тепловоза, що обмежена тривалим струмом

$$F_{к\infty} = F_{д\infty} \cdot k.$$

Аналогічно наноситься обмеження сили тяги з пускового струму тягового генератора.

Для визначення обмеження за зчепленням коліс з рейками слід розрахувати та побудувати залежність  $F_{кзч} = f(V)$ . При цьому

$$F_{кзч} = P_{зч}^{\delta} \cdot \psi_{р}, \quad (25)$$

де  $P_{зч}^{\delta}$  – зчіпна вага базового тепловоза, кН.

Величина  $F_{кзч}$  визначається для кількох значень швидкості: 0, 5, 10, 20, ..., км/год.

Результати розрахунку звести в таблицю.

#### Засоби самоконтролю

1. Що являє собою тягова характеристика?
2. На основі чого розраховується та будується тягова характеристика?
3. Які обмеження має тягова характеристика?

## 6. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Одним із основних техніко-економічних показників тепловоза, що проектується, є його ККД  $\eta_{Т}$

$$\eta_{Т} = \frac{3600 \cdot N_{к}}{B_{Г} \cdot H_{и}}, \quad (26)$$

де  $N_{к}$  – дотична потужність тепловоза, кВт;

$B_{Г}$  – годинна витрата палива, кг/год;

$H_{и}$  – питома теплота згоряння палива,  $H_{и} = 42500$  кДж/кг [2].

У курсовому проєкті потрібно розрахувати та побудувати залежність ККД тепловоза від швидкості його руху для всіх трьох ступенів ослаблення поля ТЕД. Попередньо необхідно розрахувати та побудувати залежності

$$N_{к} = f(V); B_{т} = f(V); \eta_{п} = f(V).$$

=

Дотична потужність секції тепловоза  $N_{к}$ , кВт, залежно від швидкості його руху визначається зі співвідношення:

$$N_{к} = \frac{F_{к} \cdot V}{3,6}. \quad (27)$$

Величина сили тяги визначається за тяговою характеристикою секції проєктного тепловоза для всіх трьох ступенів ослаблення поля ТЕД в інтервалі швидкості руху тепловоза від 0 до  $V_{к}$ .

Годинна витрата палива, кг/год, визначається з виразу:

$$B_{т} = b_{е} \cdot N_{е}, \quad (28)$$

де  $b_{е}$  – питома ефективна витрата палива, кг/(кВт·год), приймається залежно від типу вибраного дизеля (дод. Б).

ККД передачі  $\eta_{п}$  визначається за формулою:

$$\eta_{п} = \frac{N_{к}}{N_{е} - \sum N_{доп}}. \quad (29)$$

Результати розрахунку параметрів  $N_{к}$ ,  $\eta_{п}$ ,  $\eta_{т}$ , а також значення  $N_{е}$  і  $B_{т}$  звести в таблицю.

Примітка: 1) інтервал задання швидкості руху тепловоза – 10 км/год, розрахункову швидкість і швидкість переходу з одного режиму ТЕД на інший занести обов'язково;

2) відповідні вихідні величини швидкості руху  $V$  і дотичної сили тяги  $F_{к}$  прийняти за тяговою характеристикою проєктного тепловоза.

#### Засоби самоконтролю

1. Що являють собою техніко-економічні характеристики?
2. Як визначається годинна витрата палива?

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Боднар, Б. Є., Нечаєв Є. Г., Бобирь Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина : підручник. Дніпропетровськ : ПП «Ліра ЛТД», 2009. 284 с.
2. Боднар Б. Є., Нечаєв Є. Г., Бобирь Д. В. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проєктування : підручник. Дніпропетровськ : Ліра ЛТД, 2010. 360 с.

Таблиця 8

## Результати розрахунку економічних характеристик

$V$ , км/год	Режим роботи ТЕД																	
	ПП ( $\alpha = 100\%$ )						ОП1 ( $\alpha = \dots$ )						ОП2 ( $\alpha = \dots$ )					
	$F_K$ , кН	$N_K$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_{\text{ч}}$ , кг/год	$\eta_{\text{П}}$	$\eta_{\text{Т}}$	$F_K$ , кН	$N_K$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_{\text{ч}}$ , кг/год	$\eta_{\text{П}}$	$\eta_{\text{Т}}$	$F_K$ , кН	$N_K$ , кВт	$N_e$ , кВт	$B_{\text{ч}}$ , кг/год	$\eta_{\text{П}}$	$\eta_{\text{Т}}$
$V=0$																		
.																		
.																		
.																		
.																		
.																		
$V_K$																		

## Додатки

Додаток А  
Таблиця А.1

### Дані щодо вибору тягового електродвигуна для секції тепловоза потужністю до 2208 кВт

Параметр	Значення параметра за типом ТЕД							
	ЕДТ-200Б	ЕДТ-200Б	ЕДТ-200Б	ЕД-107	ЕД-107	ЕД-118	ЕД-118А	ЕД-120А
Номінальна потужність, кВт	207	207	87	192	105-113	307	192	135
Частота обертання якоря, хв <sup>-1</sup> :								
– найбільша допустима	2200	2200	2200	2290	2290	2290	2290	1890
– тривала	500	500	500	580	580	580	580	245
Струм тривалого режиму, А	820	820	820	595(720)	605	710	595(720)	800
Маса двигуна, кг	3300	3300	3300	3100	3100	3100	3100	3000
Передаточне число редуктора	75:17	66:26	75:17	68:15	68:15	75:17	75:17*)	75:17
Модуль зачеплення, мм	10	10	10	11	11	10	10	10
Тепловоз, на який може бути встановлений двигун цього типу	ТЕ3	ТЕ7	ТЕМ1	М62 V200	ТЕМ2	ТЕ114	М62	ТЕМ7

Примітка \*) в експлуатації є тепловози з передаточним числом  $68 : 15 = 4,53$  при модулі зачеплення 11 мм

## Дані щодо вибору тягового електродвигуна для секції тепловоза потужністю вище ніж 2208 кВт

Параметр	Значення параметра за типом ТЕД								
	ЕД-107	ЕД-107	ЕД-107	ЕД-107	ЕД-108	ЕД-118	ЕД-119	ЕД-121	ЕД-126У1
Номінальна потужність, кВт	307	307	307	307	308	307	411	400	411
Частота обертання якоря, хв <sup>-1</sup> :									
– найбільша допустима	2480	2480	2290	2480	1870	2290	2320	2320	1890
– тривала	580	580	580	580	610	585	705	700	580
Струм тривалого режиму, А	720	720	720	730	700	720	900	880	880
Маса двигуна, кг	3100	3100	3100	3100	3300	3100	3250	3000	3000
Передаточне число редуктора	69:14	68:15	75:17	63:20	72:31	75:17	78:25	94:22	94:22
Модуль зачеплення, мм	10	11	10	11	10	10	10	10	10
Тепловоз, на який може бути встановлений двигун цього типу	ТЕ10 ТЕ40 2ТЕ10 2ТЕ40	ТЕ40 2ТЕ40	2ТЕ10Л	ТЕП10 ТЕП10Л ТЕП10	ТЕП60 2ТЕП60	2ТЕ10В 2ТЕ10М 3ТЕ10М ТЕ109 2ТЕ116 2ТЕ116А V300	ТЕП70	2ТЕ121	2ТЕ121

Дані щодо вибору дизель-генераторної установки потужністю до 2208 кВт (3000 к.с.)

Параметр	Значення параметра за серією тепловоза					
	TE3, TE7	M62, 2M62, V200	TE114	TEM1	TEM2	TEM7
Тип дизеля	2Д100	14Д40У2	3-5Д49Т2	2Д50М	ПД1М	2-2Д49
Номинальна потужність дизеля, кВт	1472	1472	2060	736	882	1472
Питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год)	238	215	207	224	224	209
Частота обертання колінчастого вала, хв <sup>-1</sup>	850	750	1000	740	750	1000
Маса дизеля, кг	19650	12600	20700	17000	16600	20000
Тип генератора	МПТ 99/37	ГП 312У2	ГС 501АТ2	МПТ 84/39	ГП 300А	ГС 515У
Потужність генератора, кВт	1350	1270	2040	700	780	1400
Момент на валу генератора, Н·м	15107	14225	19326	9810	9908	12851
Струм тривалого режиму, А	2455	2230	3360	1210	1255	1540
Струм короткочасний, А	4000	3570	6300	1400	1400	2500
Маса генератора, кг	7600	7400	6000	4500	5100	5200
Габаритні розміри дизель-генератора, мм:						
– довжина	6815	5647	6187	5160	5069	5287
– ширина	1730	1818	1930	1585	1467	1920
– висота	3350	2405	3000	3524	2478	2475

## Дані щодо вибору дизель-генераторної установки потужністю 2208 кВт (3000 к.с.) і вище

Параметр	Значення параметра за серією тепловоза							
	ТЕ10, ТЕП10	ТЕ40, 2ТЕ40, ТЕП40	ТЕП10Л, 2ТЕ10Л, 2ТЕ10В, 2ТЕ10М	ТЕ109, 2ТЕ116, V300	2ТЕ116А, 2ТЕ130	2ТЕ121	ТЕП60, 2ТЕП60	ТЕП70
Тип дизеля	10Д100	Д70	10Д100	1А-5Д49	5Д49	2В-5Д49	11Д45	2А-5Д49
Номінальна потужність дизеля, кВт	2208	2208	2208	2208	2208	2944	2208	2944
Питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год)	224	204	218	204	211	208	238	211
Частота обертання колінчастого вала, хв <sup>-1</sup>	850	1000	850	1000	1000	1000	750	1000
Маса дизеля, кг	19460	14500	19300	14500	11500	19100	12350	26000
Тип генератора	МПТ 120/49	ГП 310А	ГП 311Б	ГС 501	ГС 501	ГС 504А42	МПТ120/55А	ГС 504А
Потужність генератора, кВт	2000	2000	2000	2040	2040	2800	2000	2750
Момент на валу генератора, Н·м	22465	18993	22465	19326	19326	19326	22465	19326
Струм тривалого режиму, А	4320	4320	4320	3360	3360	6200	4320	6200
Струм короткочасний, А	6600	6600	6600	6300	6300	8700	6600	8700
Маса генератора, кг	9200	9200	8900	6000	6000	6560	9200	6500
Габаритні розміри дизель-генератора, мм:								
– довжина	6922	6337	6922	6337	6337	6350	5840	6213
– ширина	1930	1930	1930	1930	1930	2100	2000	2100
– висота	3210	3100	3210	3100	3100	2902	2450	2902

**Значення швидкості переходів**

Серія тепловоза	Швидкість переходу, км/год			
	з ПП на ОП1	з ОП1 на ОП2	з ОП2 на ОП1	з ОП1 на ПП
ТЕ3	29,5	51,5	31,5	24,0
ТЕ7	51,8	89,5	61,5	42,0
ТЕ10	38,0	62,5	43,0	27,5
ТЕП10, ТЕП10Л	55,5	80,5	62,0	41,5
ТЕ40, 2ТЕ40	39,5	56,0	43,0	30,0
ТЕП40	55,5	82,5	63,0	41,5
2ТЕ10Л, 2ТЕ10М, 2ТЕ10В, 3ТЕ10М	38,0	62,5	43,0	27,5
2ТЕ116	43,5	58,5	46,0	32,0
2ТЕ116А	39,5	62,0	46,0	33,0
М62, 2М62	33,5	61,0	43,5	29,0
ТЕ109	28,0	48,0	30,0	21,0
2ТЕ121	45,1	64,5	47,5	32,0
2ТЕП60, ТЕП60	71,5	118,0	105,0	59,0
ТЕП70	77,0	105,0	72,0	51,5
ТЕМ1	11,0	26,5	22,0	10,0
ТЕМ 2	20,0	29,0	22,0	13,0

**Характеристики тягових осьових редукторів тепловозів**

Серія тепловоза	$z_{ш}$	$z_{к}$	$\Sigma z$	$\mu$
2ТЕП60, ТЕП60	31	72	103	2,32
ТЕ7	26	66	92	2,54
ТЕП70	25	78	103	3,12
ТЕП10, ТЕП10Л, ТЕП40	20	63	83	3,15
ТЕ129	20	73	93	3,65
2ТЕ121	22	94	116	4,27
ТЕМ1, ТЕ3, ТЕ10, 2ТЕ10Л, 2ТЕ10М, 2ТЕ10В, 2ТЕ116, 2ТЕ116А, ТЕ109, ТЕ114	17	75	92	4,41
ТЕМ2, 2ТЕ10Л, ТЕ40, 2ТЕ40, М62, 2М62, V200	15	68	83	4,53
ТЕ40, 2ТЕ40	14	69	83	4,93

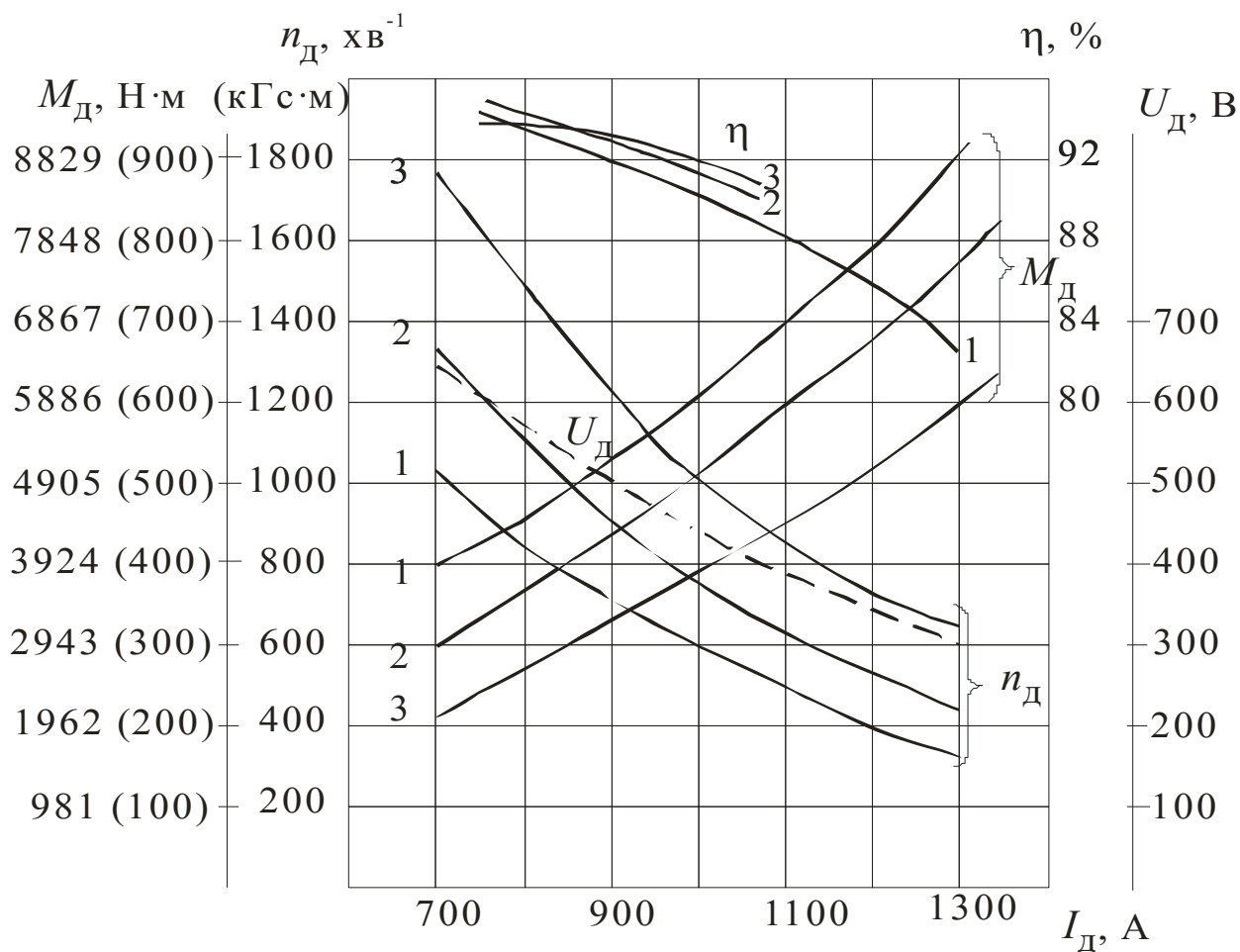


Рис. Г. 1. Електромеханічні характеристики ТЭД типу ЕД-119, ЕД-120А потужністю 411 кВт (тепловози серії ТЕП70, ТЕ129):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100\%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 62\%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 38\%$ )

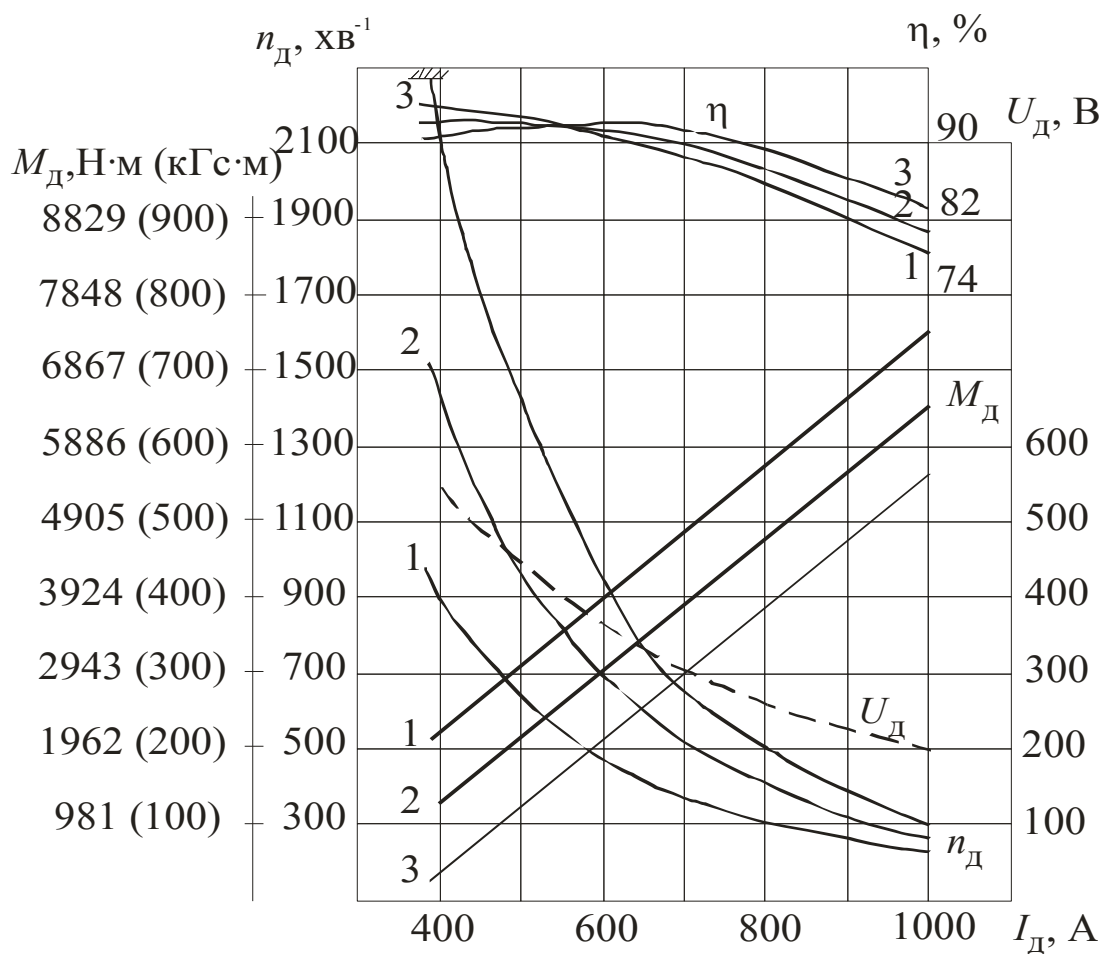


Рис. Г. 2. Електромеханічні характеристики ТЕД типу ЕД-107А, ЕД-118А потужністю 192 кВт (тепловози серії М62, М62С, 2М62):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100\%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 60\%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 37\%$ )

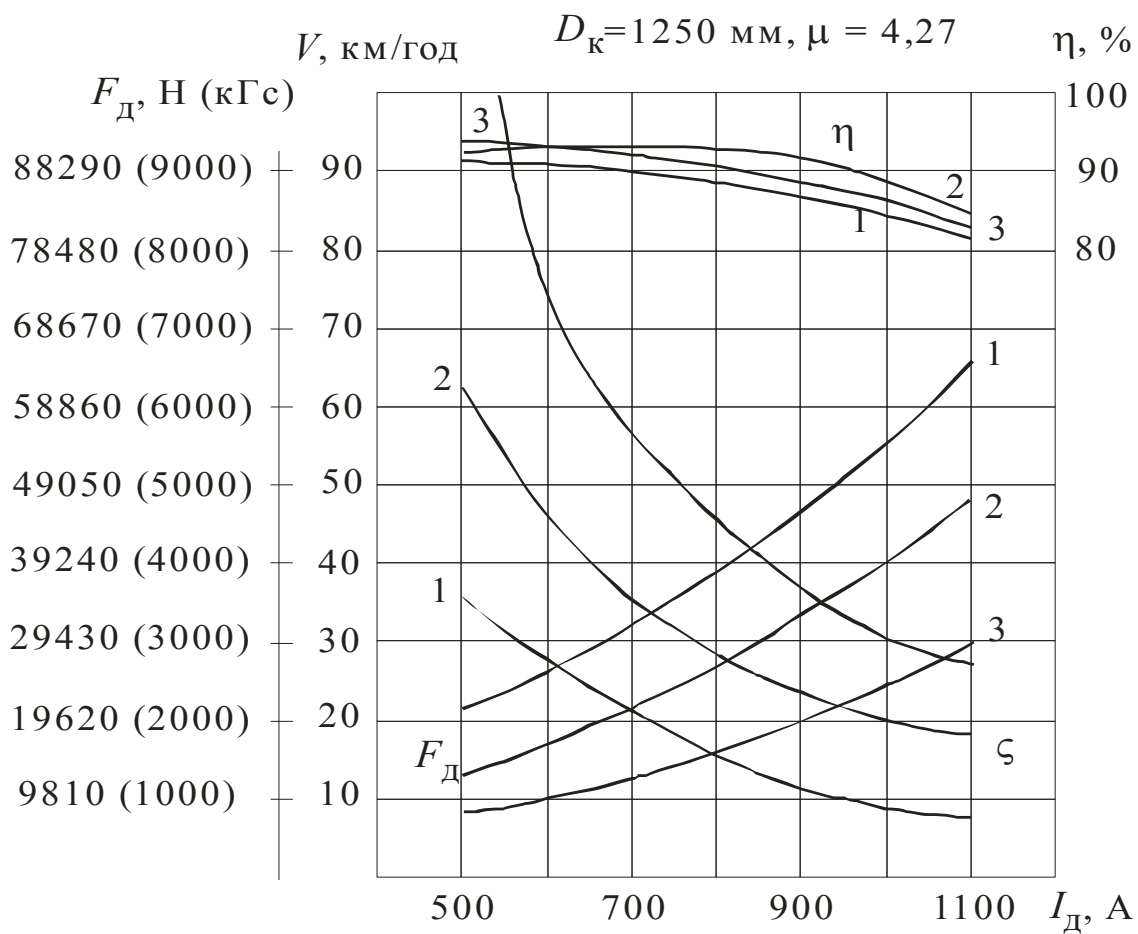


Рис. Г. 3. Електротягові характеристики КМБ з ТЕД типу ЕД-126У1 потужністю 411 кВт (тепловоз серії 2ТЕ121):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100 \%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 60 \%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 36 \%$ )

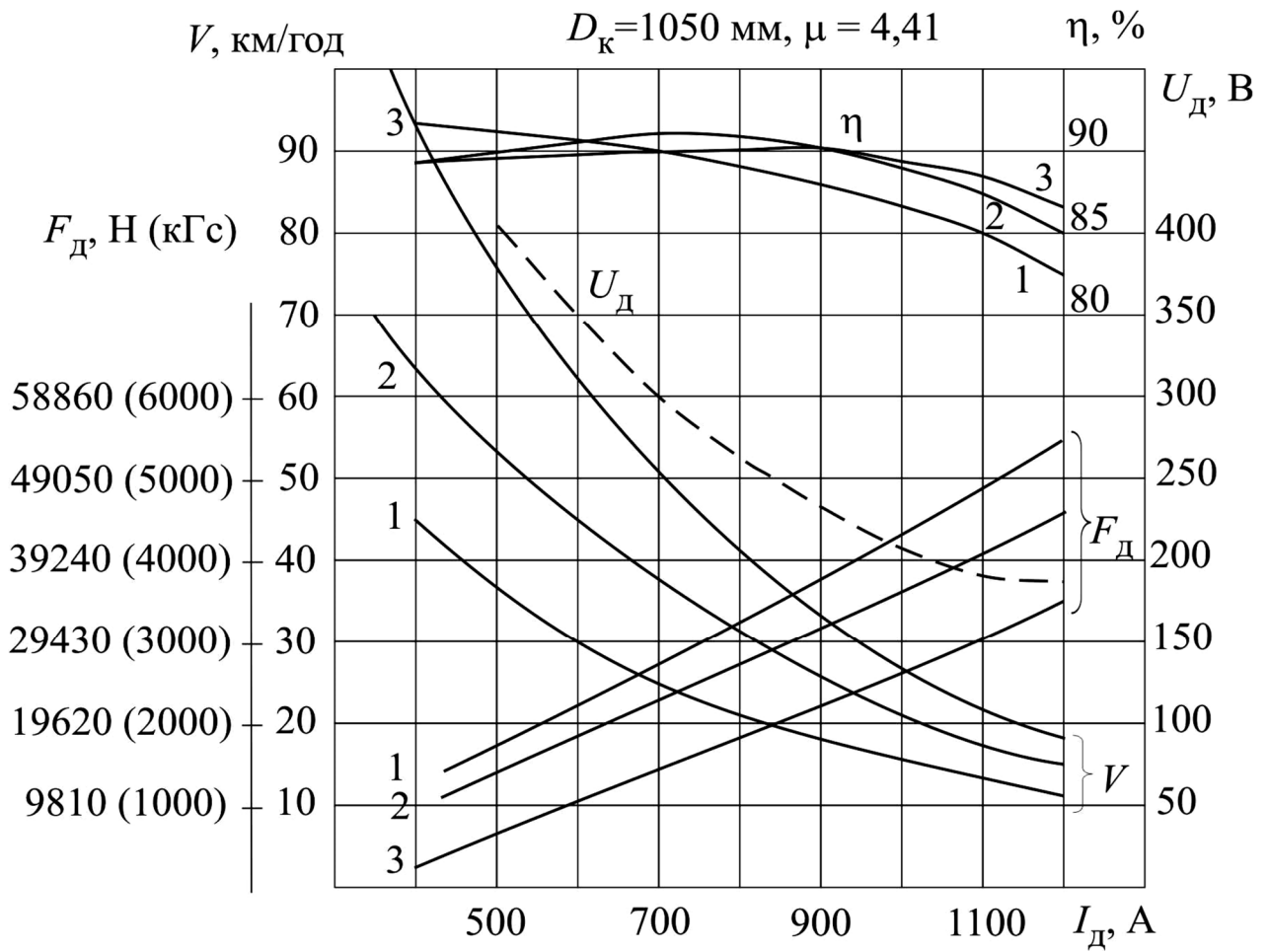


Рис. Г. 4. Електротягові характеристики КМБ з ТЕД типу ЕД-200Б потужністю 207 кВт (тепловози серії ТЕ3, ТЕ7):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100 \%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 53 \%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 35 \%$ )

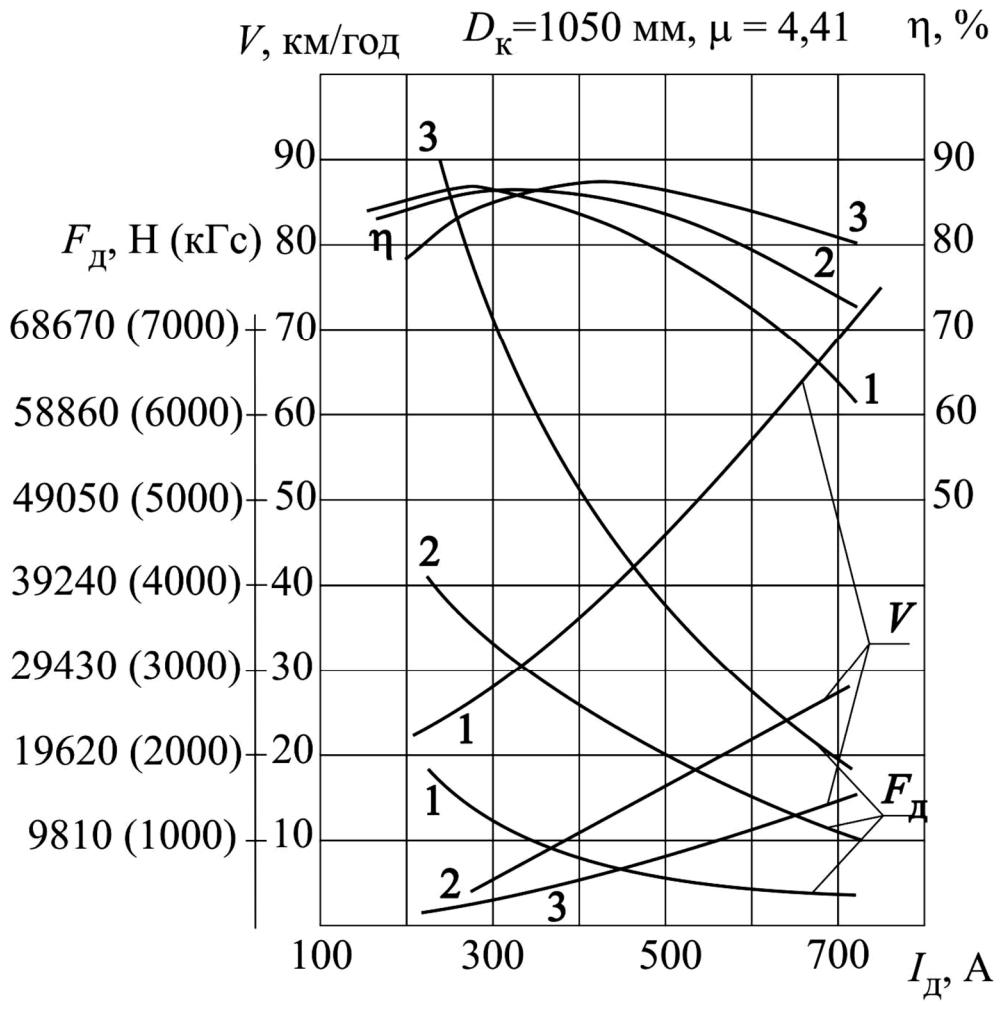


Рис. Г. 5. Електротягові характеристики КМБ з ТЕД типу ЕДТ-200Б  
 потужністю 87 кВт (тепловоз серії ТЕМ1):  
 1 – С, 2 – СП ПП ( $\alpha = 100 \%$ ), 3 – СП ОП ( $\alpha = 42,5 \%$ )

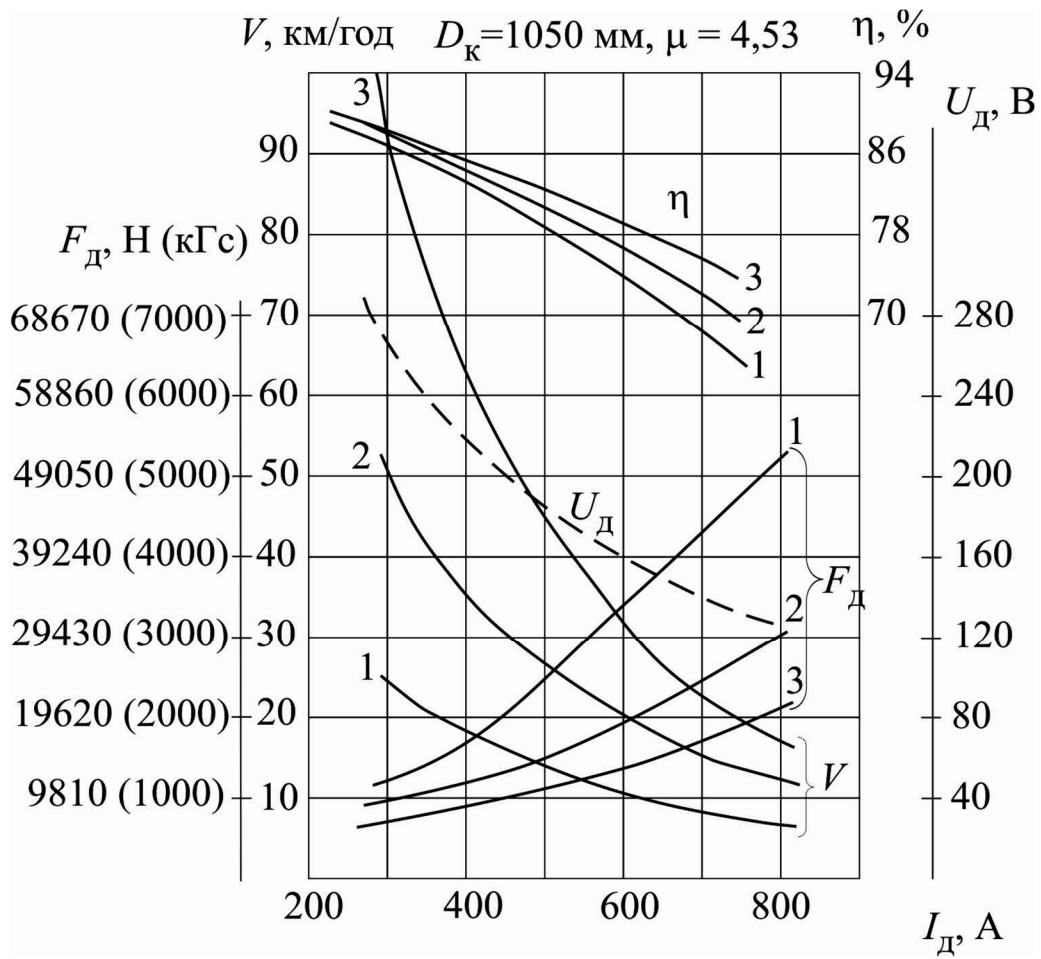


Рис. Г. 6. Електротягові характеристики КМБ з ТЕД типу ЕДТ-107, ЕДТ-107А потужністю 113 кВт (тепловоз серії ТЕМ2):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100\%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 48\%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 25\%$ )

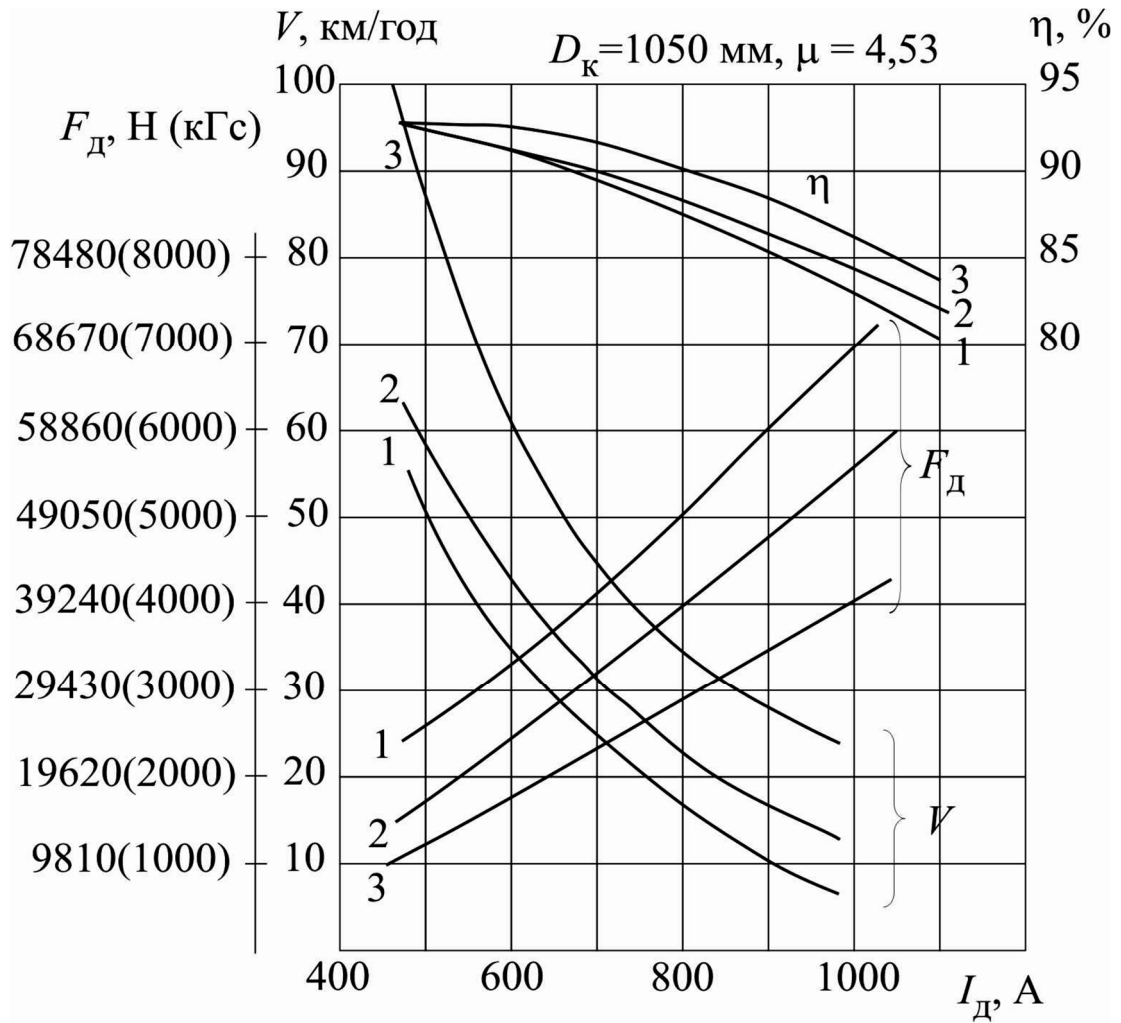


Рис. Г. 7. Електротягові характеристики КМБ з ТЕД типу ЕД-118, ЕД-118А потужністю 307 кВт (тепловози серії 2ТЕ10В, 2ТЕ10М, 3ТЕ10М, 2ТЕ116):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100 \%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 60 \%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 36 \%$ )

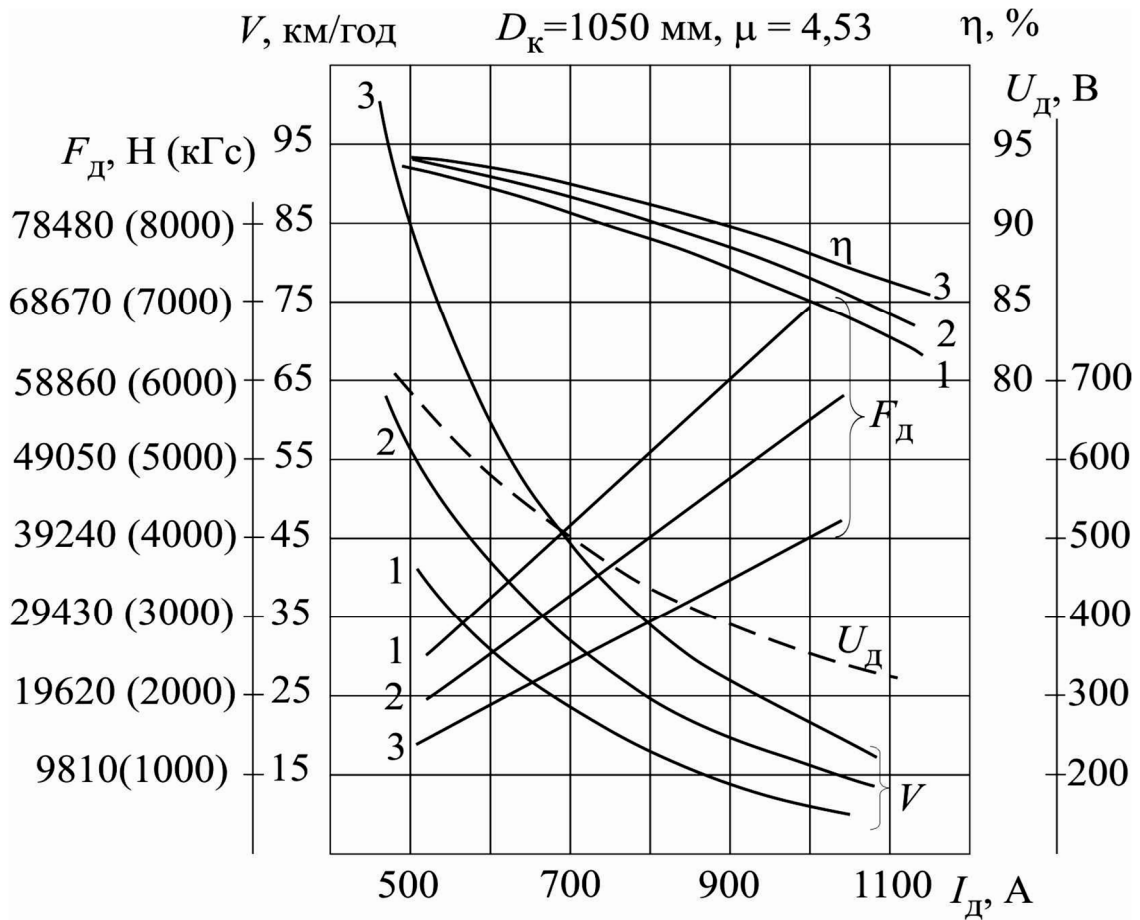


Рис. Г.8. Електротягові характеристики КМБ з ТЕД типу ЕД-107, ЕД-107А, ЕД-118А потужністю 307 кВт (тепловоз серії 2ТЕ10Л, ТЕ10, ТЕ40, 2ТЕ40):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100\%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 60\%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 36\%$ )

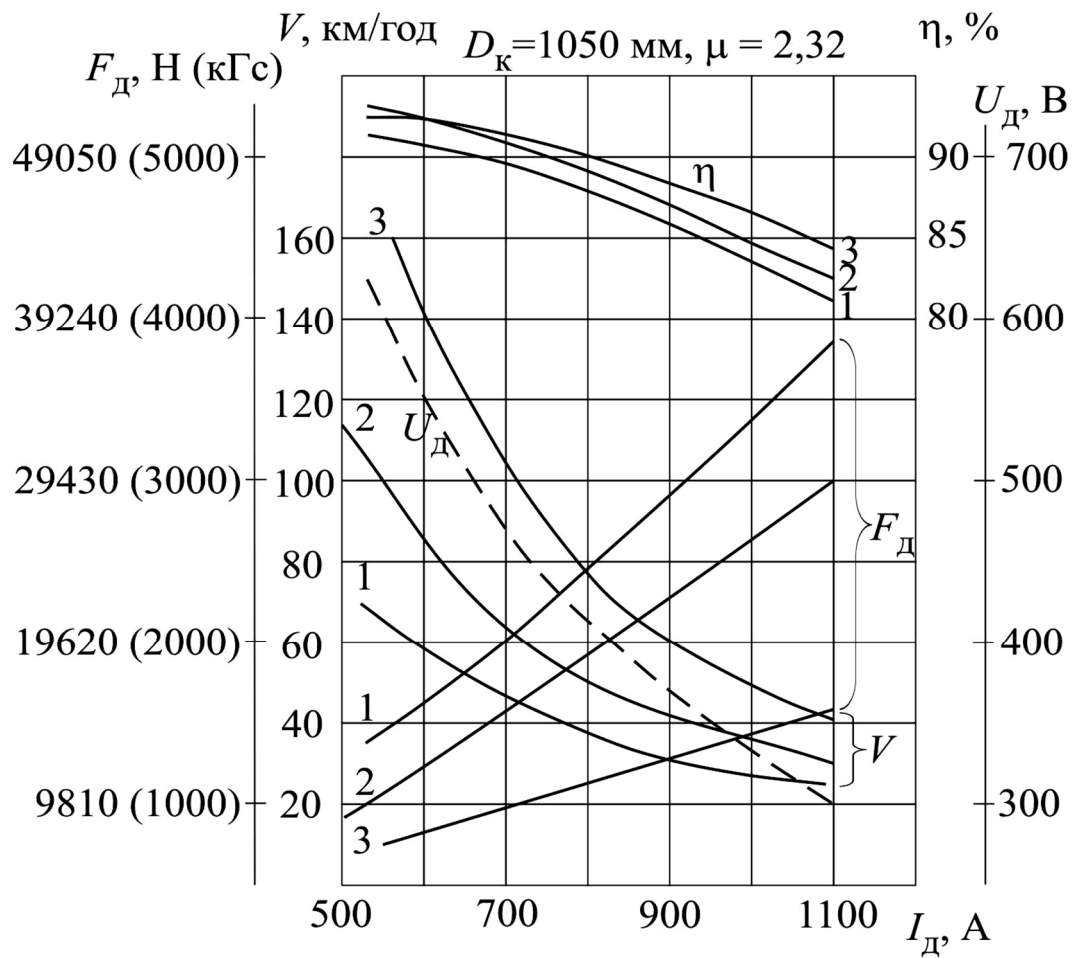


Рис. Г. 9. Електротягові характеристики КМБ з ТЕД типу ЕД-108, ЕД-108А  
 потужністю 307 кВт (тепловози серії ТЕП60, 2ТЕП60):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100 \%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 60 \%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 36 \%$ )

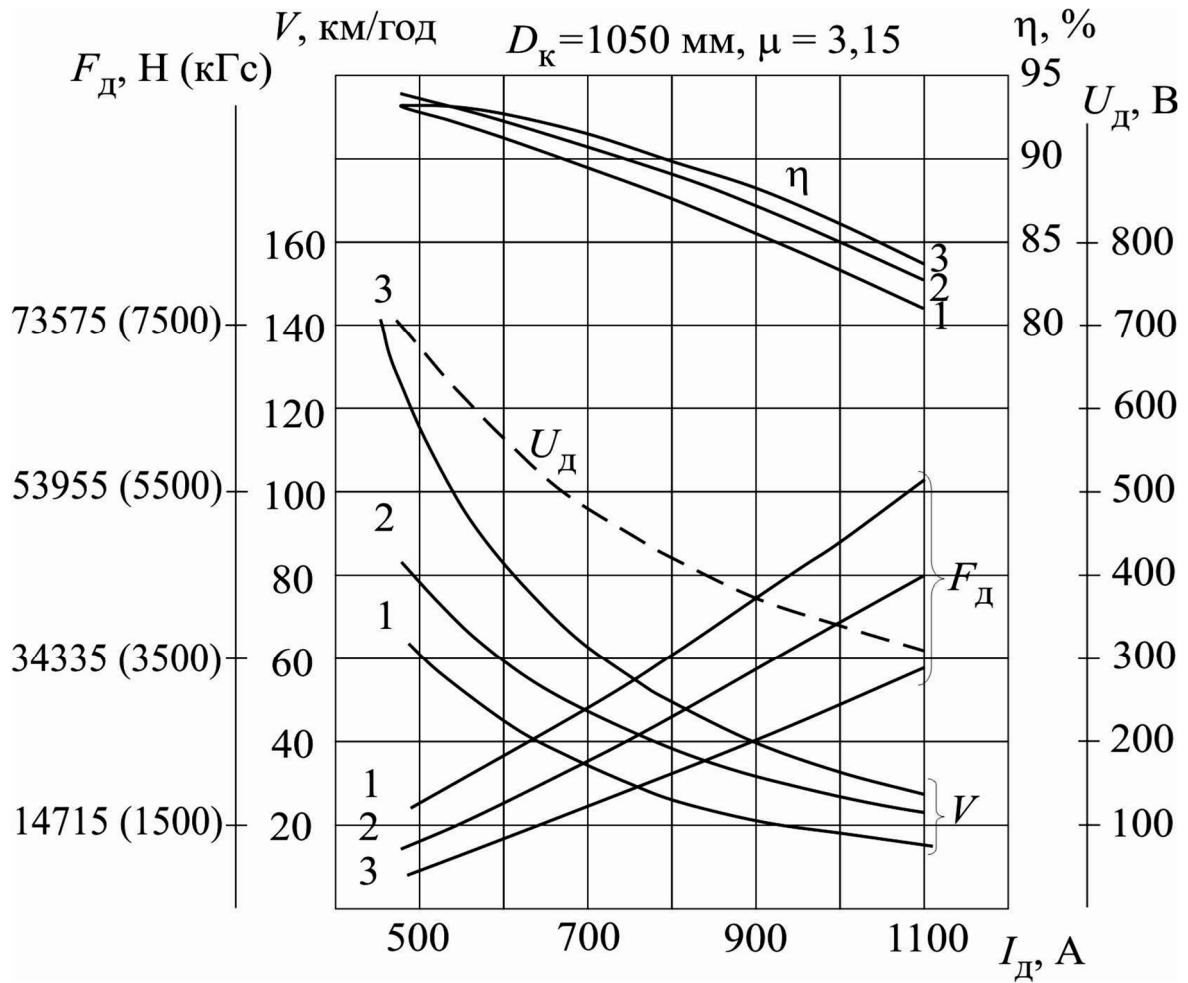


Рис. Г. 10. Електротягові характеристики КМБ з ТЕД типу ЕД-107, ЕД-108 потужністю 307 кВт (тепловози серії ТЕП10, V300):  
 1 – ПП ( $\alpha = 100\%$ ), 2 – ОП1 ( $\alpha = 60\%$ ), 3 – ОП2 ( $\alpha = 36\%$ )

Навчально-методичне видання

**Бобирь** Дмитро Валерійович,  
**Кислий** Дмитро Миколайович

**ТЕОРІЯ ТА КОНСТРУКЦІЯ ЛОКОМОТИВІВ.  
ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЗА**

Навчально-методичні рекомендації до курсового та дипломного проєктування

Електронне видання

Експертний висновок склав канд. техн. наук Володимир Сердюк

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 1.812 від 03.02.2025)

В авторській редакції  
Комп'ютерна верстка Д. В. Бобирь

Формат 60x84<sub>1/16</sub>. Ум. друк. арк. 1,97. Обл.-вид. арк. 2,0.  
Зам. № 15.

Видавець: Український державний університет науки і технологій  
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010