

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Управління та експлуатація рухомого складу»

В авторській редакції

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

Навчально-методичні рекомендації
до курсового та дипломного проектування

Електронне видання

ДНІПРО
2026

УДК 629.42.01 (07.8)

Т 33

Упорядники:
Д. В. Бобирь, М. І. Капіца

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
273.1.06 «Локомотиви та локомотивне господарство»
протокол № 1 від 29.08.2025

Т 33 Теорія та конструкція локомотивів. Ескізне проектування техніко-економічних характеристик : Навчально-методичні рекомендації до курсового та дипломного проектування / уклад.: Д. В. Бобирь, М. І. Капіца; Укр. держ. ун-т науки і технологій. - Дніпро, 2026. - 24 с.

Навчально-методичні вказівки містять методику ескізного проектування основних техніко-економічних характеристик тепловозів, а також необхідні довідкові дані.

Для студентів заочної форми навчання освітнього ступеня «бакалавр» за ОПП «Локомотиви та локомотивне господарство» спеціальності «Залізничний транспорт».

Іл. 2. Табл. 8. Бібліогр.: 11 назв.

Зміст

ВСТУП	4
ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	5
1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО РЕДУКТОРА	6
2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕД ТА ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК КМБ	9
3. РОЗРАХУНОК ТЯГОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТНОГО ТЕПЛОВОЗА	15
4. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЕКТНОГО ТЕПЛОВОЗА	18
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	19
Додаток А.....	21
Додаток Б	22

ВСТУП

Дисципліна «Теорія та конструкція локомотивів» посідає ключове місце у формуванні професійної компетентності майбутніх фахівців зі спеціальності J7 «Залізничний транспорт». Саме вона забезпечує студентів фундаментальними знаннями щодо принципів проектування, конструктивних рішень, інженерної логіки та закономірностей функціонування основних систем і агрегатів тягового рухомого складу. Розуміння цих процесів є необхідною умовою для здатності приймати технічно виважені рішення у виробничо-експлуатаційній діяльності, під час технічного діагностування, удосконалення конструкцій і підвищення ефективності роботи локомотивів.

Метою цього видання є забезпечення студентів практичним інструментарієм для виконання курсового та дипломного проектування, що охоплює методику визначення основних техніко-економічних характеристик тепловоза.

У контексті робочої програми дисципліни це видання сприяє досягненню результатів навчання, а саме формує здатність:

- 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;
- 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 проектування певних систем, агрегатів, тягової та техніко-економічних характеристик локомотива.

Досягнення цих результатів забезпечується практичною спрямованістю матеріалу: усі розрахунки подані у формі алгоритмів із чіткою структурою; використано довідкові дані, типові параметри реальних тепловозів, таблиці для перенесення у проект; розміщено рекомендації щодо оформлення пояснювальної записки та проектної документації відповідно до вимог ЕСКД. Такий підхід дозволяє студентові не лише засвоїти теоретичний матеріал, але й набути реальних проектних компетентностей, необхідних для майбутньої професійної діяльності на підприємствах локомотивного господарства.

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Пояснювальна записка та креслення повинні відповідати вимогам ЕСКД [1–8].

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.

Зміст курсового проєкту. Пояснювальна записка окрім вихідних даних, висновку та списку використаної літератури повинна містити такі розділи:

1. Розрахунок техніко-економічних показників проєктного тепловоза (частина 1).
2. Розробка екіпажної частини тепловоза та визначення її основних параметрів тепловоза (частина 2).

3. Динамічне вписування локомотива в криву (частина 3).

Курсовий проект підлягає захисту.

Вихідні дані. Основні вихідні дані (якщо вони не надані керівником курсового проекту), обираються за табл. А.1 та А.2, що наведені в дод. А. Якщо для проектних розрахунків бракує даних, студент має право приймати їх самостійно, керуючись відповідними параметрами тепловоза-зразка.

1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО РЕДУКТОРА

Обертальний момент з вала тягового електродвигуна на колісну пару передається через зубчастий одноступінчастий циліндричний редуктор.

Основним параметром, що впливає на тягові властивості колісно-моторного блока в цілому, є передаточне число зубчастої передачі цього редуктора [9].

Передаточне число i є відношенням обертального моменту на ободі колеса до моменту на валу тягового електродвигуна (ТЕД), що визначене для тривалого режиму роботи колісно-моторного блока (КМБ):

$$i = \frac{M_{\text{к}}}{M_{\text{д}\infty}} = \frac{F_{\text{д}\infty} \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot M_{\text{д}\infty}}, \quad (1.1)$$

де $M_{\text{д}\infty}$ – момент обертання на валу якоря ТЕД у тривалому режимі, кН·м;

$F_{\text{д}\infty}$ – сила тяги тривалого режиму одного колісно-моторного блока, кН;

$D_{\text{к}}$ – діаметр колеса, м.

Величини $F_{\text{д}\infty}$ і $M_{\text{д}\infty}$ можуть бути визначені з виразів

$$F_{\text{д}\infty} = \frac{3,6 \cdot P_{\text{д}\infty}}{V_{\text{р}}}, \quad M_{\text{д}\infty} = 9,5 \cdot \frac{P_{\text{д}\infty}}{n_{\text{д}\infty}}, \quad (1.2)$$

де $P_{\text{д}\infty}$ – потужність одного ТЕД, кВт;

$n_{\text{д}\infty}$ – частота обертання якоря ТЕД у тривалому режимі, хв⁻¹;

$$n_{\text{д}\infty} = n_{\text{дmax}} \cdot \frac{V_{\text{р}}}{V_{\text{к}}}, \quad (1.3)$$

де $n_{\text{дmax}}$ – максимальна частота обертання якоря ТЕД (у розрахунках приймається в межах 2200–2300 хв⁻¹).

Підставляючи вирази (1.2), (1.3) у формулу (1.1), отримаємо

$$i_1 = 0,19 \cdot \frac{n_{д\max} \cdot D_k}{V_k}. \quad (1.4)$$

Передаточне число i_1 , визначене за формулою (1.4), забезпечить не тільки параметри $F_{д\infty}$, $M_{д\infty}$ тривалого режиму, відповідно швидкості тривалого режиму руху тепловоза, але й умову міцності зубчастого зачеплення та обмоток ТЕД, частота обертання якоря якого при конструкційній швидкості не перевищить максимально припустимого значення $n_{д\max}$.

Остаточне значення передаточного числа встановлюється з урахуванням прийнятої довжини централі A , що є відстанню між осями якоря ТЕД і колісної пари:

$$A = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m}{2}, \quad (1.5)$$

де z_1 – кількість зубів ведучої шестерні;

z_2 – кількість зубів веденої шестерні (зубчастого колеса);

m – модуль зубчастого зачеплення.

Для тепловозів ТЕП60, ТЕП70 і ТЕП75 довжина централі приймається рівною 520 мм, для тепловозів інших серій – 468,8 мм.

Для тягових передач тепловозів модуль зубчастого зачеплення, що є відношенням діаметра ділильної окружності до зубів шестерні, приймається $m = 10$.

Кількість зубів ведучої шестерні z_1 і веденого зубчастого колеса z_2 визначаються із сумісного рішення двох рівнянь:

$$\begin{cases} z_1 + z_2 = \frac{2 \cdot A}{m}, \\ \frac{z_2}{z_1} = i_1. \end{cases} \quad (1.6)$$

Після уточнення кількості зубів z_1 і z_2 , остаточно встановлюється передаточне число, яке в подальших розрахунках позначається як i_2 .

Враховуючи, що КМБ має габаритні обмеження, слід перевірити можливість розміщення в нижній частині габариту рухомого складу веденого зубчастого колеса з кожухом за формулою

$$\Delta = \frac{D_k - (d_2 + 2 \cdot C)}{2} \geq 120 - 130 \text{ мм}, \quad (1.7)$$

де C – відстань від торця зубів веденого колеса до нижньої поверхні кожуха.

Згідно з [10] рекомендовано приймати $C = 18 - 25$ мм;

d_2 – діаметр ділильної окружності веденого колеса, мм.

$$d_2 = m \cdot z_2. \quad (1.8)$$

Запитання для самоконтролю

1. Який фізичний зміст має передаточне число тягового редуктора і як воно впливає на тягові властивості колісно-моторного блока?
2. Як пов'язані між собою момент на валу ТЕД, сила тяги та діаметр колеса при визначенні передаточного числа?
3. Яким чином потужність ТЕД і частота обертання якоря впливають на величину сили тяги тривалого режиму?
4. Чому при визначенні передаточного числа необхідно враховувати максимально допустиму частоту обертання якоря ТЕД?
5. Які конструктивні параметри (довжина централі, модуль зачеплення, кількість зубів) впливають на остаточне значення передаточного числа?
6. Чому модуль зубчастого зачеплення для тягових передач тепловозів приймається стандартним ($m = 10$), і як це пов'язано з міцністю передачі?
7. Яким чином сумісне розв'язання системи рівнянь дозволяє визначити кількість зубів ведучої та веденої шестерень?
8. У чому різниця між розрахунковим передаточним числом i_1 та остаточно прийнятим i_2 ?
9. Чому необхідно перевіряти габаритні обмеження розміщення веденого зубчастого колеса в нижній частині габариту рухомого складу?
10. Як зміна діаметра колеса або максимальної частоти обертання ТЕД вплине на швидкість руху локомотива та вибір передаточного числа?
11. Для заданих значень $n_{д\max} = 2300 \text{ хв}^{-1}$, $D_k = 1,05 \text{ м}$ та $V_k = 120 \text{ км/год}$ розрахувати передаточне число i_1 . Проаналізувати, як зміниться результат при зменшенні конструкційної швидкості на 10 %.
12. Задано: $A = 520 \text{ мм}$, $m = 10$, попередньо визначене $i_1 = 3,9$. Виконати підбір цілочисельних значень z_1 і z_2 . Оцінити відхилення уточненого передаточного числа i_2 від розрахункового i_1 .
13. Для обраних z_1 і z_2 визначити діаметр ділильної окружності веденого колеса d_2 та перевірити виконання умови габаритного обмеження. Зробити висновок щодо можливості конструктивної реалізації.
14. Проаналізувати, як зміна модуля зачеплення (наприклад, з 10 до 12) вплине на суму зубів $z_1 + z_2$, габарити передачі та масу редуктора. Чи доцільна така зміна з позицій експлуатаційної надійності?

15. Розрахувати силу тяги тривалого режиму $F_{до}$ для заданої потужності одного ТЕД і швидкості руху. Оцінити, як зміниться сила тяги при збільшенні передаточного числа на 5 %.

16. Виконати порівняльний аналіз двох варіантів редуктора з різними передаточними числами (наприклад, $i=3,8$ та $i=4,2$). Оцінити вплив на:

- максимальну швидкість локомотива;
- тягове зусилля;
- навантаження на зубчасте зачеплення.

Обґрунтувати, який варіант є більш раціональним для пасажирського тепловоза.

17. Оцінити, чи забезпечує вибране передаточне число компроміс між тяговими характеристиками та довговічністю зубчастої передачі. Які додаткові перевірки (на міцність зубів, контактні напруження, коефіцієнт запасу) доцільно виконати для інженерного обґрунтування рішення?

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕД ТА ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК КМБ

Електротяговими характеристиками КМБ називають залежності дотичної сили тяги, яка утворюється на ободі колеса і швидкості руху тепловоза від величини струму навантаження ТЕД: $F_d = f(I_d)$, $V_d = f(I_d)$.

Вказані залежності можуть бути отримані тільки при сформованому КМБ, який являє собою вузол, що складається з ТЕД, з'єднаного з колісною парою за допомогою тягового редуктора.

Для розрахунку електротягових характеристик використовуються величина передаточного числа редуктора і електромеханічні характеристики тягового електродвигуна, які являють собою залежності обертового моменту і частоти обертання якоря ТЕД від струму навантаження: $M_d = f(I_d)$, $n_d = f(I_d)$.

Електромеханічні характеристики тягового електродвигуна можуть бути отримані розрахунковим шляхом з використанням універсальних характеристик тягових машин: генератора (дод. Б, рис. Б.1) і тягового електродвигуна (дод. Б, рис. Б.2).

Універсальні (безрозмірні) характеристики тягових електричних машин показують залежності між величинами, віднесеними до їх значень тривалого режиму.

Для тягового генератора

$$\bar{U}_\Gamma = \frac{U_\Gamma}{U_{\Gamma\infty}} = f\left(\frac{I_\Gamma}{I_{\Gamma\infty}}\right); \bar{\eta}_\Gamma = \frac{\eta_\Gamma}{\eta_{\Gamma\infty}} = f\left(\frac{I_\Gamma}{I_{\Gamma\infty}}\right). \quad (2.1)$$

Для тягового електродвигуна

$$\bar{M}_\Delta = \frac{M_\Delta}{M_{\Delta\infty}} = f\left(\frac{I_\Delta}{I_{\Delta\infty}}\right); \bar{n}_\Delta = \frac{n_\Delta}{n_{\Delta\infty}} = f\left(\frac{I_\Delta}{I_{\Delta\infty}}\right). \quad (2.2)$$

Побудову зовнішньої характеристики генератора виконують так.

Розраховують потужність генератора тривалого режиму за формулою

$$P_{\Gamma\infty} = P_e \cdot \eta_{\Gamma\infty} \cdot \beta_{\text{доп}}, \quad (2.3)$$

де P_e – ефективна потужність дизеля, кВт;

$\eta_{\Gamma\infty}$ – ККД генератора;

$\beta_{\text{доп}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати потужності на допоміжні потреби.

Значення коефіцієнта корисної дії генератора в тривалому режимі можна прийняти $\eta_{\Gamma\infty} = 0,96$ [9].

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

$$\beta_{\text{доп}} = \frac{P_e - \Sigma P_{\text{доп}}}{P_e}, \quad (2.4)$$

де $\Sigma P_{\text{доп}}$ – потужність, що витрачається на привід допоміжних агрегатів, кВт.

Приблизно витрати потужності на привід допоміжних агрегатів $\Sigma P_{\text{доп}}$ складають 8–10 % від ефективної потужності [9].

Параметри тягового генератора тривалого режиму:

$$U_{\Gamma\infty} = \frac{U_{\Gamma\text{max}}}{\bar{U}_{\Gamma\text{max}}}, \quad (2.5)$$

де $U_{\Gamma\text{max}}$ – максимальна напруга генератора, В, у розрахунках приймається в межах 700–950 В [9];

$\bar{U}_{\Gamma\text{max}}$ – відносне значення максимальної напруги.

Для визначення $\bar{U}_{\Gamma\text{max}}$ обчислюють відносні значення максимальної швидкості руху тепловоза, при якій використовується повна потужність дизеля

$$\bar{V}_{\max} = \frac{V_{\max}}{V_p}, \quad (2.6)$$

де V_{\max} – максимальна швидкість руху, км/год.

Для магістральних тепловозів максимальна швидкість рівна конструкційній, а для маневрових тепловозів

$$V_{\max} = (0,6 - 0,8) \cdot V_k.$$

Після визначення \bar{V}_{\max} за універсальними характеристиками ТЕД (див. рис. Б.2), для значення \bar{V}_{\max} по кривій $\bar{n} = n / n_{\infty}$, вважаючи, що максимальне значення ослаблення магнітного поля ТЕД для вантажного тепловоза складає $\alpha = 0,38$, а для пасажирського $\alpha = 0,25$, знаходиться значення $\bar{I}_d = I / I_{\infty}$, при якому використовується повна потужність дизеля. Для отриманого значення \bar{I}_d за універсальною характеристикою генератора (див. рис. Б.1) визначається \bar{U}_{\max} . Підставивши отримане значення \bar{U}_{\max} у вираз (2.5), обчислюється значення напруги генератора тривалого режиму.

Струм генератора тривалого режиму $I_{G\infty}$, А,

$$I_{G\infty} = \frac{P_{G\infty} \cdot 10^3}{U_{G\infty}}. \quad (2.7)$$

Дійсну зовнішню характеристику генератора при відомих значеннях $U_{G\infty}$ і $I_{G\infty}$ отримують шляхом перерахунку безрозмірної універсальної характеристики (див. рис. Б.1) за формулами:

$$U_G = U_{G\infty} \cdot \bar{U}_G; \quad I_G = I_{G\infty} \cdot \bar{I}_G, \quad (2.8)$$

де \bar{U}_G , \bar{I}_G – відносні значення напруги і струму відповідно, що отримані за графіком на рис. Б.1.

Результати розрахунку зовнішньої характеристики генератора доцільно звести до таблиці за формою табл. 1.

За результатами розрахунку необхідно накреслити на міліметровому папері формату А4 зовнішню характеристику генератора проектного тепловоза.

Розрахунок електромеханічних характеристик ТЕД проектного тепловоза виконується таким чином.

Визначається потужність ТЕД тривалого режиму за формулою

$$P_{\text{д}\infty} = \frac{P_{\Gamma\infty}}{k}, \quad (2.9)$$

де k – кількість тягових електродвигунів у секції тепловоза.

Таблиця 1

**Результати розрахунку зовнішньої характеристики генератора
проектного тепловоза**

\bar{I}_{Γ}	\bar{U}_{Γ}	I_{Γ}, A	$U_{\Gamma}, \text{В}$
0,4			
0,6			
⋮			
1,6			

Сила тяга одного КМБ у тривалому режимі $F_{\text{д}\infty}$, кН,

$$F_{\text{д}\infty} = \frac{3,6 \cdot P_{\text{д}\infty} \cdot \eta_{\text{д}\infty}}{V_{\infty}}, \quad (2.10)$$

де $\eta_{\text{д}\infty}$ – значення к.к.д електродвигуна у тривалому режимі, $\eta_{\text{д}\infty} = 0,915$ [9].

Обертальний момент ТЕД у тривалому режимі $M_{\text{д}\infty}$, кН·м,

$$M_{\text{д}\infty} = \frac{F_{\text{д}\infty} \cdot D_{\text{к}}}{2 \cdot i_2 \cdot \eta_{\text{зп}}}, \quad (2.11)$$

де $\eta_{\text{зп}}$ – к.к.д. зубчастої передачі тягового редуктора, $\eta_{\text{зп}} = 0,975$ [9].

Частота обертання ТЕД у тривалому режимі $n_{\text{д}\infty}$, хв⁻¹,

$$n_{\text{д}\infty} = n_{\text{д max}} \cdot \frac{V_{\text{р}}}{V_{\text{к}}}. \quad (2.12)$$

Значення струму навантаження ТЕД тривалого режиму проектного тепловоза при паралельному з'єднанні ТЕД визначається за формулою

$$I_{\text{д}\infty} = \frac{I_{\Gamma\infty}}{K}, \quad (2.13)$$

де K – кількість ТЕД (при їх паралельному з'єднанні) або число паралельних груп (приймається по тепловозу-зразку).

Електромеханічні характеристики ТЕД проектного тепловоза визначаються із співвідношень:

$$M_{\text{д}} = M_{\text{д}\infty} \cdot \bar{M}_{\text{д}}; \quad n_{\text{д}} = n_{\text{д}\infty} \cdot \bar{n}_{\text{д}}; \quad I_{\text{д}} = I_{\text{д}\infty} \cdot \bar{I}_{\text{д}}. \quad (2.14)$$

Слід задаватися наступними значеннями $\bar{I}_{\text{д}}$ – 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6. Для кожного значення $\bar{I}_{\text{д}}$ за універсальними характеристиками ТЕД (див. рис. Б.2) визначаються $\bar{M}_{\text{д}}$ і $\bar{n}_{\text{д}}$.

Розрахунок електромеханічних характеристик ТЕД виконується для трьох ступенів ослаблення магнітного поля ТЕД ($\alpha = 1,0$, $\alpha_1 = 0,6$, $\alpha_2 = 0,38$). Для пасажирських тепловозів використовується поглиблене ослаблення поля $\alpha_3 = 0,25$. Результати розрахунку доцільно представити в вигляді табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку електромеханічних характеристик ТЕД

Режим роботи ТЕД												
ПП ($\alpha_1 = \dots$)					ОП1 ($\alpha_2 = \dots$)				ОП2 ($\alpha_3 = \dots$)			
$I_{\text{д}},$ А	$\bar{M}_{\text{д}}$	$M_{\text{д}},$ кН·м	$\bar{n}_{\text{д}}$	$n_{\text{д}},$ хв ⁻¹	$\bar{M}_{\text{д}}$	$M_{\text{д}},$ кН·м	$\bar{n}_{\text{д}}$	$n_{\text{д}},$ хв ⁻¹	$\bar{M}_{\text{д}}$	$M_{\text{д}},$ кН·м	$\bar{n}_{\text{д}}$	$n_{\text{д}},$ хв ⁻¹
⋮												

За результатами розрахунку необхідно накреслити на міліметровому папері формату А4 електромеханічні характеристики ТЕД проектного тепловоза.

Електромеханічні характеристики ТЕД в **електротягові характеристики КМБ** перераховуються таким чином.

Задаються рядом значень струму ТЕД у межах побудованих залежностей $M_{\text{д}} = f(I_{\text{д}})$, $n_{\text{д}} = f(I_{\text{д}})$. Для прийнятих значень струму $I_{\text{д}}$ за електромеханічними характеристиками ТЕД визначаються значення $M_{\text{д}}$ і $n_{\text{д}}$.

Значення сили тяги КМБ визначається за формулою

$$F_{\text{д}} = \frac{2 \cdot i_2 \cdot M_{\text{д}}}{D_{\text{к}}} \cdot \eta_{\text{зп}}. \quad (2.15)$$

Швидкість руху тепловоза, що відповідає значенню $n_{\text{д}}$, визначається за формулою

$$V = \frac{60 \cdot \pi \cdot D_{\text{к}} \cdot n_{\text{д}}}{1000 \cdot i_2}. \quad (2.16)$$

Результати розрахунку електротягових характеристик КМБ проектного тепловоза доцільно звести в таблицю, складену за формою табл. 3.

За результатами розрахунку необхідно накреслити на міліметровому папері формату А4 електротягові характеристики КМБ проектного тепловоза на яких вказати значення діаметра колеса D_k та передаточне число тягового осьового редуктора i_2 .

Таблиця 3

Результати розрахунку електромеханічних характеристик ТЕД

Режим роботи ТЕД												
ПП ($\alpha_1 = \dots$)				ОП1 ($\alpha_2 = \dots$)				ОП2 ($\alpha_3 = \dots$)				
I_D, A	$M_D,$ кН·м	$F_D,$ кН	$n_D,$ хв ⁻¹	$V,$ км/ГОД	$M_D,$ кН·м	$F_D,$ кН	$n_D,$ хв ⁻¹	$V,$ км/ГОД	$M_D,$ кН·м	$F_D,$ кН	$n_D,$ хв ⁻¹	$V,$ км/ГОД
⋮												

Запитання для самоконтролю

1. Що називається електротяговими характеристиками КМБ і які фізичні величини вони пов'язують між собою?

2. Який зв'язок існує між електромеханічними характеристиками ТЕД та електротяговими характеристиками КМБ?

3. Яким чином визначається потужність генератора тривалого режиму та які коефіцієнти враховуються при її розрахунку?

4. Як визначається струм генератора тривалого режиму та від чого він залежить?

5. Яким чином визначається сила тяги одного КМБ у тривалому режимі?

6. Як передаточне число редуктора впливає на силу тяги та швидкість руху тепловоза?

7. Чому розрахунок характеристик виконується для кількох ступенів ослаблення магнітного поля ТЕД?

8. Для заданих значень $P_e=2200$ кВт, $\eta_{г\infty}=0,96$, $\beta_{доп}=0,92$ визначити потужність генератора тривалого режиму. Проаналізувати вплив зміни $\beta_{доп}$ на результат.

9. При $U_{г\infty}=850$ В та $P_{г\infty}=1900$ кВт розрахувати струм генератора тривалого режиму. Оцінити, як зміниться струм при зниженні напруги на 10 %.

10. Для заданого моменту ТЕД $M_d=6,5$ кН·м, передаточного числа $i_2=4,1$, діаметра колеса $D_k=1,05$ м визначити силу тяги КМБ. Проаналізувати вплив зменшення ККД зубчастої передачі.

11. Для заданої частоти обертання $n_d=1800$ хв⁻¹, $D_k=1,05$ м та $i_2=4,1$ визначити швидкість руху тепловоза. Проаналізувати вплив збільшення передаточного числа на 5 %.

12. Виконати порівняльний аналіз режимів ПП ($\alpha = 1$), ОП1 ($\alpha = 0,6$) та ОП2 ($\alpha = 0,38$):

- як змінюється момент ТЕД;
- як змінюється частота обертання;
- який режим є доцільнішим для вантажного тепловоза на «важкому» підйомі?

13. Оцінити, чи забезпечує вибране передаточне число редуктора раціональне поєднання максимальної швидкості та достатньої сили тяги. Обґрунтувати рішення.

14. Проаналізувати, як вплине зменшення діаметра колеса на електротягові характеристики КМБ та динаміку локомотива.

15. На основі розрахованих електротягових характеристик зробити висновок: чи використовується повністю потужність дизеля на максимальній швидкості? Як це впливає на паливну економічність?

16. Оцінити, який ступінь ослаблення поля є найбільш ефективним для пасажирського тепловоза з точки зору забезпечення високої швидкості руху.

17. Запропонувати інженерні заходи для підвищення тягових характеристик КМБ без перевищення допустимих струмів ТЕД.

3. РОЗРАХУНОК ТЯГОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТНОГО ТЕПЛОВОЗА

Тяговою характеристикою тепловоза називають графічну залежність дотичної сили тяги від швидкості руху при заданій потужності силової установки.

Для розрахунку необхідно задатися рядом значень струму навантаження і за кривими $F_d = f(I_d)$, $V = f(I_d)$ визначити значення дотичної сили тяги та швидкості руху, що відповідають прийнятому значенню струму навантаження ТЕД. Розрахунок виконується для всіх трьох режимів роботи ТЕД: повного поля (ПП), ослабленого поля першого (ОП1) і другого (ОП2) ступенів.

Сумарне значення дотичної сили тяги тепловоза визначається з урахуван-

ням кількості ТЕД, що створюють тягове зусилля тепловоза

$$F_{\text{дот}} = F_{\text{д}} \cdot k.$$

Для визначення швидкостей прямих переходів з ПП на ОП1 ($V_{\text{пр}}^{\text{ПП-ОП1}}$) та з ОП1 на ОП2 ($V_{\text{пр}}^{\text{ОП1-ОП2}}$) слід скористатися співвідношенням

$$V_{\text{пр}}^{\text{ПП-ОП1(ОП1-ОП2)}} = V_{\text{зр}}^{\text{ПП-ОП1(ОП1-ОП2)}} \cdot \frac{i_{\text{зр}}}{i_2}, \quad (3.1)$$

де $V_{\text{зр}}^{\text{ПП-ОП1(ОП1-ОП2)}}$ – швидкість переходу тепловоза-зразка;

$i_{\text{зр}}, i_2$ – передаточні числа тягового редуктора відповідно тепловоза-зразка й тягового редуктора проектного тепловозів.

Зворотні переходи (ОП2 → ОП1 → ПП) можна прийняти при швидкості руху на 10 км/год меншій, ніж прямі переходи (ПП → ОП1 → ОП2).

Результати розрахунку тягової характеристики проектного тепловоза доцільно звести в таблицю за формою табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунку тягової характеристики проектного тепловоза

$V_{\text{д}},$ км/год	Режим роботи ТЕД					
	ПП ($\alpha_1 = \dots$)		ОП1 ($\alpha_2 = \dots$)		ОП2 ($\alpha_3 = \dots$)	
	$F_{\text{д}},$ кН	$F_{\text{дот}},$ кН	$F_{\text{д}},$ кН	$F_{\text{дот}},$ кН	$F_{\text{д}},$ кН	$F_{\text{дот}},$ кН
⋮						
$V_{\text{к}}$						

За результатами розрахунку необхідно побудувати на міліметровому папері формату А4 тягову характеристику проектного тепловоза $F_{\text{дот}} = f(V)$ та вказати на ній значення діаметра колеса $D_{\text{к}}$ та передаточне число тягового осьового редуктора i_2 . Приклади тягових характеристик наведено в [11].

На тягову характеристику тепловоза наносять обмеження сили тяги по струму ТЕД $I_{\text{д}\infty}$ і по зчепленню коліс з рейками.

Щоб нанести обмеження $I_{\text{д}\infty}$, діють таким чином. Для значення $I_{\text{д}\infty}$ за

електротяговими характеристиками КМБ визначають величину $F_{д\infty}$. Тоді величину обмеження тяги тепловоза визначають за формулою

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

Для накладення на тягову характеристику обмеження по зчепленню коліс із рейками необхідно скористатися основним законом локомотивної тяги

$$F_{дот} \leq F_{зч},$$

де $F_{зч}$ – сила зчеплення коліс із рейками, кН;

$$F_{зч} = \psi_{зч} \cdot 2\Pi, \quad (3.2)$$

де $\psi_{зч}$ – розрахунковий коефіцієнт зчеплення [11].

При нанесенні на тягову характеристику обмеження по зчепленню крива $F_{зч} = f(V)$ повинна перетинати залежність $F_{дот} = f(V)$. Точка перетину кривих визначає швидкість руху, при якій здійснюється вихід на автоматичну криву повного використання потужності силової установки.

Запитання для самоконтролю

1. Поясніть, що саме називають тяговою характеристикою тепловоза та чому її будують як залежність $F_{дот}=f(V)$ при заданій потужності силової установки.

2. Опишіть покроково алгоритм отримання точок для графіка $F_{дот}=f(V)$: які значення задаються (струм I_d), які залежності використовуються ($F_d=f(I)$, $V=f(I)$) і чому розрахунок виконують окремо для ПП, ОП1, ОП2.

3. Як визначається сумарна дотична сила тяги тепловоза $F_{дот}$ через силу одного КМБ F_d і кількість ТЕД k ? У яких випадках помилка у виборі k призведе до некоректної тягової характеристики?

4. Розрахуйте швидкості прямих переходів $V_{пр}$ (ПП→ОП1 та ОП1→ОП2) для заданих: $V_{зр}=55$ км/год (для ПП→ОП1), $i_{зр}=3,9$, $i_2=4,1$. Потім оцініть, як зміниться $V_{пр}$, якщо i_2 збільшити на 5 %.

5. Поясніть інженерний зміст “зворотних переходів” (ОП2→ОП1→ПП) і обґрунтуйте, чому їх дозволено приймати на 10 км/год меншими, ніж прямі переходи. Які наслідки це має для керування тягою?

6. Як накладається обмеження по струму ТЕД $I_{до\infty}$ на тягову характеристику? Опишіть метод: як за електротяговими характеристиками КМБ знаходять $F_{до\infty}$ і як далі отримують обмеження для тепловоза $F_{до\infty} = F_{до\infty} \cdot k$.

7. Виконайте оцінювання за умовою зчеплення коліс із рейками: поясніть основний закон $F_{дог} \leq F_{зч}$, формулу $F_{зч} = \psi_{зч} \cdot 2\Pi$ та що означає точка перетину кривих $F_{зч} = f(V)$ і $F_{дог} = f(V)$. Чому саме ця точка визначає швидкість виходу на “автоматичну криву повного використання потужності”?

4. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЕКТНОГО ТЕПЛОВОЗА

Основним економічним показником тепловоза є його коефіцієнт корисної дії (к.к.д), який є відношенням корисної роботи, що виконується тепловозом, до витраченої роботи

$$\eta_T = \frac{3600 P_{дог}}{B_T Q_p^H}, \quad (4.1)$$

де $P_{дог}$ – дотична потужність проектного тепловоза, кВт;

B_T – годинна витрата палива, кг/год;

Q_p^H – питома теплота згоряння палива, кДж/кг, $Q_p^H = 42745$ кДж/кг [9].

Заздалегідь необхідно розрахувати залежності: $P_{дог} = f(V)$, $B_T = f(V)$, за формулами

$$P_{дог} = \frac{F_{дог} \cdot V}{3,6}, \quad (4.2)$$

$$B_T = g_e \cdot P_e, \quad (4.3)$$

де $F_{дог}$ – дотична сила тяги тепловоза, кН;

g_e – питома витрата палива, кг/(кВт·год), табл. Б.1;

P_e – ефективна потужність дизеля, кВт.

Під час проектування вантажних і пасажирських тепловозів, дизелі яких мають об'єднаний регулятор кількості обертів, значення ефективної потужності P_e приймається постійним.

Для економічної оцінки передачі потужності проектного тепловоза слід побудувати залежність к.к.д. передачі від швидкості руху

$$\eta_{\text{пер}} = \frac{P_{\text{дот}}}{P_e - \Sigma P_{\text{доп}}} \quad (4.4)$$

Результати розрахунку економічних характеристик зручно звести в таблицю за формою табл. 5.

Таблиця 5

Результати розрахунку економічних характеристик проектного тепловоза

Режим роботи ТЕД												
ПП ($\alpha_1 = \dots$)					ОП1 ($\alpha_2 = \dots$)				ОП2 ($\alpha_3 = \dots$)			
V , км/ год	$F_{\text{дот}}$, кН	$P_{\text{дот}}$, кВт	$\eta_{\text{пер}}$	η_m	$F_{\text{дот}}$, кН	$P_{\text{дот}}$, кВт	$\eta_{\text{пер}}$	η_m	$F_{\text{дот}}$, кН	$P_{\text{дот}}$, кВт	$\eta_{\text{пер}}$	η_m
⋮												

За результатами розрахунку необхідно побудувати на міліметровому папері формату А4 техніко-економічні характеристики проектного тепловоза, які являють собою залежності $P_{\text{дот}}$, V_T , P_e , η_T та $\eta_{\text{пер}}$ від швидкості руху тепловоза.

Запитання для самоконтролю

1. Що є основними техніко-економічними показниками тепловоза?
2. Як визначається дотична потужність залежно від швидкості?
3. Для чого потрібна побудова залежності витрати палива?
4. Як визначається ККД тепловоза?
5. Які параметри впливають на годинну витрату палива?
6. Як визначається ККД передачі?
7. Чому важливо враховувати інтервал швидкостей у 10 км/год?
8. Як використовуються дані тягової характеристики у розрахунках?
9. Які залежності потрібно побудувати перед визначенням ККД?
10. Як впливає дотична потужність тепловоза на ККД передачі?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2.104:2006. Єдина система конструкторської документації. Основні написи. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 27 с.
2. ДСТУ 2.301:2004. Єдина система конструкторської документації. Формати. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 12 с.
3. ДСТУ 2.303:2004. Єдина система конструкторської документації. Лінії креслення. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 16 с.

4. ДСТУ 2.304:2006. Єдина система конструкторської документації. Шрифти креслярські. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 20 с.
5. ДСТУ 2.306:2006. Єдина система конструкторської документації. Позначення графічних матеріалів. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 10 с.
6. ДСТУ 2.307:2005. Єдина система конструкторської документації. Нанесення розмірів і граничних відхилень. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 28 с.
7. ДСТУ 2.701:2006. Єдина система конструкторської документації. Схеми. Види і типи. Загальні вимоги. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 18 с.
8. ДСТУ 2.604:2005. Єдина система конструкторської документації. Креслення ремонтні. Загальні вимоги. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 22 с.
9. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. напряму підготов. «Залізничний транспорт» / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобирь. Дніпропетровськ : Ліра ЛТД, 2010. 360 с.
10. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина [Текст] : підручник / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобирь. Дніпропетровськ : ПП «Ліра ЛТД», 2009. 284 с.
11. Правила тягових розрахунків для поїзної роботи : затв. 1.01.2011 / Державна адміністрація залізничного транспорту України. Київ, 2010. 56 с. [Електронний ресурс]. URL: https://scbist.com/scb/uploaded/1_1599018086.pdf (дата звернення: 20.09.2025).

ДОДАТОК А

Таблиця А.1

Найменування параметру	Умовне позначення	Одиниця вимірювання	Остання цифра навчального шифру									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Ефективна потужність	P_e	кВт	880	1470	1470	2200	2200	1470	2200	2200	2200	2940
Осьове навантаження	$2П$	кН	210	220	230	240	250	230	260	240	230	270
Діаметр коліс	D_K	м	1,05	1,05	1,05	1,05	1,25	1,05	1,25	1,05	1,05	1,22
Конструкційна швидкість	V_K	км/год	90	95	100	105	110	115	120	140	150	160
Серія тепловоза-прототипа	–	–	ТЕМ2	ТЕМ7	ТЕ3	2ТЕ10Л	2ТЕ10В	М62	2ТЕ116	ТЕП60	ТЕП60	ТЕП70

Таблиця А.2

Остання цифра навчального шифру	Передостання цифра навчального шифру									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Розрахункова швидкість руху, км/год									
1, 2	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3, 4, 5, 6, 7	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
8, 9, 0	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59

ДОДАТОК Б

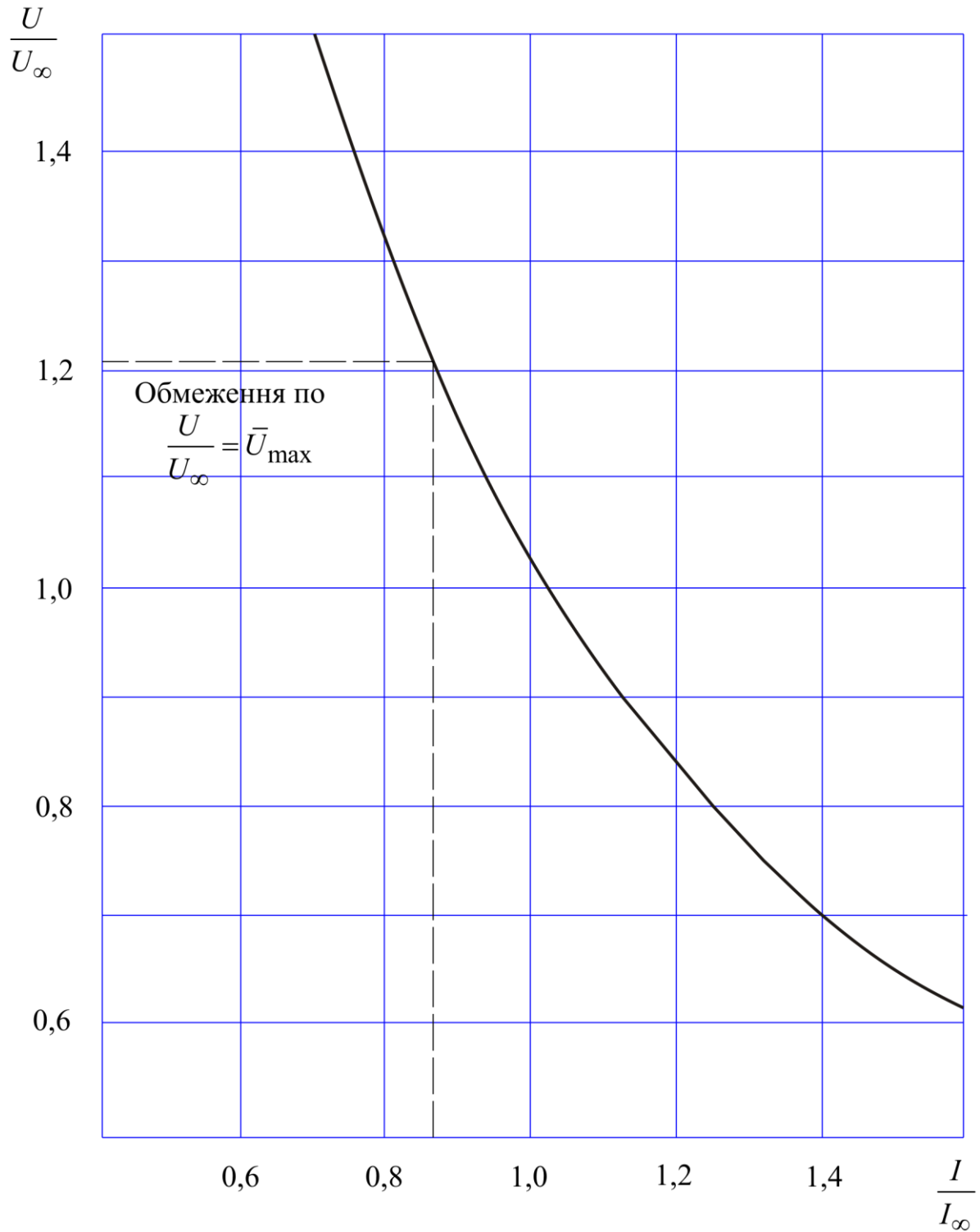


Рис. Б.1. Універсальна характеристика генератора

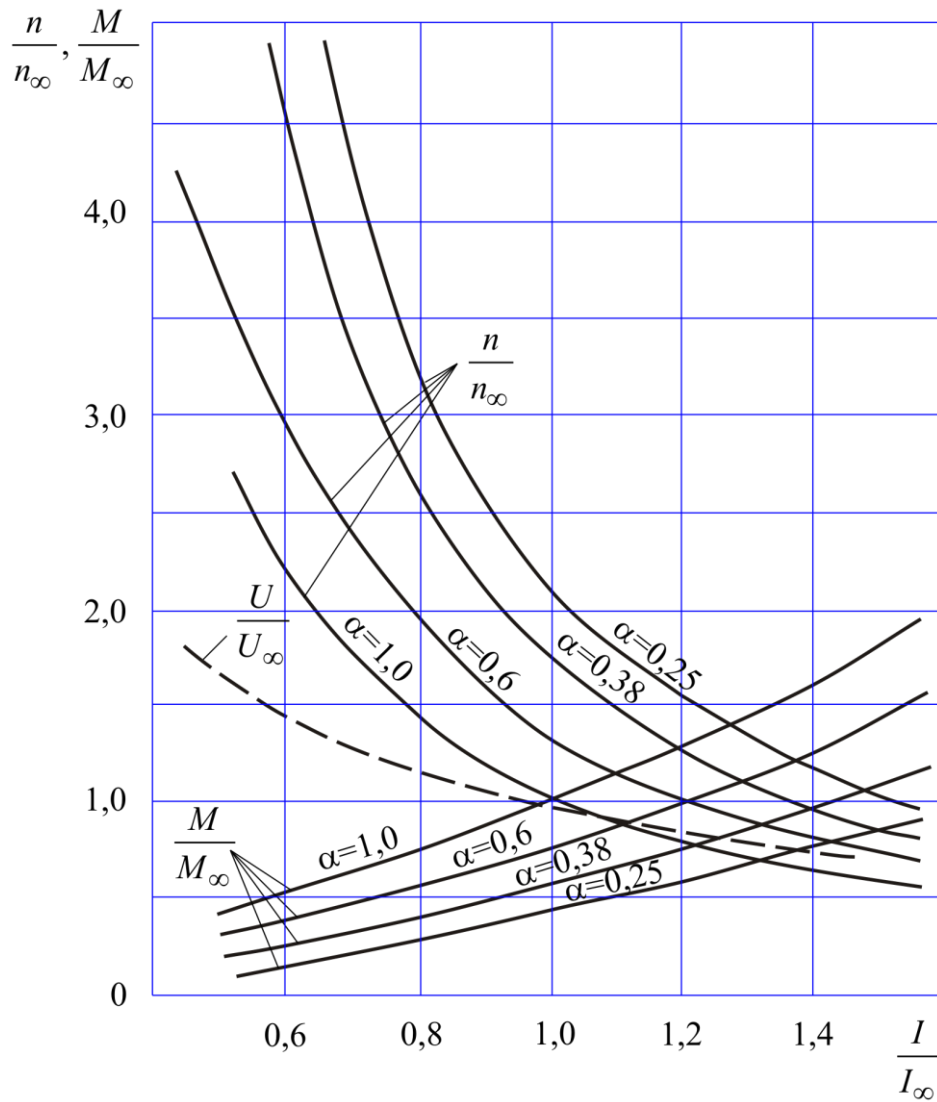


Рис. Б.2. Універсальна характеристика тягового електродвигуна

Таблиця Б.1

Серія тепловоза	ТЕМ2	ТЕ3	ТЕМ7, 2ТЕ116, ТЕП70	2ТЕ10Л, 2ТЕ10В, 2ТЕП10	<u>М62</u> ТЕП60
Марка дизеля	ПДГ-1М	2Д100	5Д49	10Д100	<u>11Д100</u> 11Д45
Питома витрата палива, кг/(кВт·год)	0,224	0,240	0,210	0,224	<u>0,219</u> 0,231

Навчально-методичне видання

Бобирь Дмитро Валерійович
Капіца Михайло Іванович

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

Навчально-методичні рекомендації до курсового та дипломного проектування

Електронне видання

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. Олександр ОЧКАСОВ

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 1.848 від 27.11.2025)

В авторській редакції

Комп'ютерна верстка Д. В. Бобирь
Фахівець з цифрового видавництва

Формат 60x84 ^{1/16}. Ум. друк. арк. 1,39. Обл.-вид. арк. 1,41.
Зам. № 3

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 1201, 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