

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра „Автоматика та комп'ютерні системи”

**ПОБУДОВА ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРОВОЗІВ І ТЕПЛОВОЗІВ
З ЕЛЕКТРИЧНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять
з дисципліни**

„ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ”

Харків 2009

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Автоматика та комп'ютерні системи” 10 березня 2008 р., протокол №7.

Рекомендуються для студентів спеціальності 6.100501.01 „Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту (Локомотиви)” заочної форми навчання.

Укладачі:

доц. А.П. Фроленко,
старш. викл. В.В.Бобров

Рецензент

доц. В.В.Котов

ПОБУДОВА ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРОВОЗІВ І ТЕПЛОВОЗІВ
З ЕЛЕКТРИЧНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять
з дисципліни

„ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ”

Відповідальний за випуск Фроленко А.П.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 31.03.08 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,0. Обл.-вид.арк. 2,25

Замовлення № Тираж 50. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейєрбаха, 7

Міністерство транспорту та зв'язку України
Українська державна академія залізничного транспорту
Краснолиманський заочний факультет

Кафедра „Автоматики та комп'ютерних систем”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни
„ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ”

Розділ „Побудова тягових характеристик електровозів і
тепловозів з електричною передачею”

Для студентів заочної форми навчання спеціальності 6.100501.01
(Локомотиви)

Красний Лиман - 2007

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні кафедри „Автоматики та комп'ютерних систем” 10 березня 2008р., протокол № 7.

Рекомендовані для студентів спеціальності 6.100501.01 „Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту (Локомотиви)” заочної форми навчання.

Укладачі:
доцент Фроленко А.П.
ст. викл. Бобров В.В.

Рецензент:
доцент Котов В.В.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Практичне заняття 1	
Побудова тягової характеристики електровоза постійного струму	5
1.1 Вихідні дані та завдання на практичну роботу	5
1.2 Розв'язання завдання	8
1.2.1 Побудова швидкісних та електротягових характеристик тягового двигуна	8
1.2.2 Розрахунок та побудова тягової характеристики ...	9
1.2.3 Побудова обмежень тягової характеристики	9
1.2.4 Визначення показників тягової характеристики	13
2 Практичне заняття 2	
Побудова тягової характеристики тепловоза з електричною передачею	13
2.1 Вихідні дані та завдання на практичну роботу	13
2.2 Розв'язання завдання	19
2.2.1 Побудова зовнішньої та потужнісної характеристик тягового генератора	19
2.2.2 Вибір типу тягових електродвигунів	20
2.2.3 Розрахунок схеми сполучення тягових електродвигунів	21
2.2.4 Побудова швидкісних та електротягових характеристик тягового двигуна	22
2.2.5 Розрахунок і побудова тягової характеристики	24
2.2.6 Побудова обмежень тягової характеристики	27
2.2.7 Аналіз тягової характеристики та визначення її показників	28
Список літератури	29
Додаток А	
Ілюстрації до побудови тягової характеристики електровоза	30
Додаток Б	
Ілюстрації до побудови тягової характеристики тепловоза ...	32

ВСТУП

Теорія локомотивної тяги – специфічна для залізничного транспорту галузь науки, яка охоплює коло питань, що стосуються механіки руху поїзда, раціонального використання потужності локомотивів, забезпечення безпеки руху поїздів при застосуванні гальмових засобів, економії енергоресурсів на тягу. Її теоретична частина базується на законах класичної механіки, експериментальна – на узагальненні результатів спеціальних тягових випробувань локомотивів і вагонів та досвіду їх експлуатації.

Питання теорії локомотивної тяги мають широке практичне застосування в інженерній практиці як при експлуатації існуючих, так і при проектуванні і побудові нових залізничних ліній, локомотивів, вагонів чи їх реконструкції або модернізації. У сфері експлуатації теорія тяги використовується для розрахунку маси і швидкості руху поїздів, витрат енергоресурсів локомотивами, умов і наслідків застосування гальмових засобів, часу руху поїздів, оцінки тягових якостей локомотивів і профілю колії та вибору раціональних методів використання тяги, вирішення інших специфічних питань, пов'язаних з водінням поїздів. При проектуванні нових чи реконструкції існуючих ліній теорія локомотивної тяги допомагає у вирішенні питань, пов'язаних з вибором раціонального профілю колії, розташуванням станцій, пунктів енергопостачання, екіпіруванням тощо. При проектуванні нових чи модернізації існуючих локомотивів методами теорії розраховують тягові характеристики локомотивів, які проектують, для вибору найвигідніших варіантів конструкції.

Основи локомотивної тяги – перша сходинка у вивченні всієї теорії. У цьому розділі теорії локомотивної тяги розглядаються питання утворення сили тяги, методи побудови тягових характеристик, інші питання, пов'язані з тяговими якостями локомотивів.

Мета даних практичних занять – навчитися побудови тягових характеристик електровозів і тепловозів.

1 Практичне заняття 1

ПОБУДОВА ТЯГОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1 Вихідні дані та завдання на практичну роботу

Тип тягового двигуна, кількість рушійних колісних пар m , зчіпна маса електровоза P , передатне відношення тягового редуктора μ , діаметр коліс електровоза D , величина максимального струму тягового двигуна $I_{d_{max}}$, конструктивна швидкість V_k обираються за останньою цифрою навчального шифру студента з таблиці 1.1.

Швидкісні та електротягові характеристики (у табличній формі) тягових електродвигунів електровозів постійного струму D наведені в таблицях 1.2 – 1.4. Четвертий ступінь ослаблення збудження при тягових розрахунках не враховують (він слугує як резервний), тому в таблицях його немає.

На підставі вихідних даних:

- розрахувати і побудувати швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна на змінні значення передатного відношення тягового редуктора та діаметра колеса;
- побудувати тягову характеристику електровоза з усіма обмеженнями;
- визначити розрахункову силу тяги, розрахункову швидкість, силу тяги при рушанні з місця; проаналізувати тягову характеристику;
- визначити швидкості переходу на ступені ослаблення збудження тягових двигунів на паралельному сполученні;
- підрахувати дотичну потужність електровоза на розрахунковому режимі.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані.

Остання цифра навчального шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип тягового двигуна	НБ-406		ТЛ-2К				ЕД-141У			
m	6	8	8		12		6		8	
P, т	102	184	184	200	276	288	105	132	184	200
μ	3,386	4,163	3,192	3,977	3,631	4,256	2,871	3,221	3,932	3,744
D, м	1,25	1,25	1,25	1,20	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,30
I _{дmax} , А	510	550	600	650	600	700	700	650	600	700
V _к , км/ГОД	120	100	120	100	100	100	140	120	100	100

Таблиця 1.2 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового двигуна НБ-406 ($\mu = 3,9$; D = 1200 мм)

Ід, А	Схема сполучення тягових електродвигунів. Ступінь ослаблення збудження									
	ПЗ ($\beta = 1$)			П,031 ($\beta = 0,75$)		П,032 ($\beta = 0,55$)		П,033 ($\beta = 0,43$)		
	Fкд, Н	V, км/год			Fкд, Н	V, км/год	Fкд, Н	V, км/год	Fкд, Н	V, км/год
С		СП	П							
100	5690	18,6	38,0	77,0	4218	100,0	-	-	-	-
150	11576	14,5	29,9	60,9	9810	72,6	7407	94,0	-	-
175	14813	13,4	27,8	56,7	12605	67,0	10104	83,6	8240	100,0
200	18050	12,5	26,3	53,7	15647	62,3	12949	75,8	10693	90,0
250	24721	11,4	24,0	49,6	21778	56,5	19031	65,0	16137	76,0
300	31686	10,5	22,3	46,3	28253	52,4	25114	59,3	21974	67,7
350	38848	9,7	21,0	43,8	34826	49,5	31294	55,4	27959	62,4
400	46303	9,1	20,0	41,9	41791	47,0	37572	52,6	33648	58,9
450	53857	8,6	19,1	40,4	48756	45,2	43949	50,4	39829	56,0
500	61509	8,1	18,4	39,0	55721	43,6	50423	48,6	46009	53,7
600	77891	7,2	17,0	36,8	70240	41,0	63667	45,8	57879	50,5

Таблиця 1.3 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового двигуна ТЛ-2К ($\mu = 3,83$; $D = 1250$ мм)

Ід, А	Схема сполучення тягових електродвигунів. Ступінь ослаблення збудження								
	ПЗ ($\beta = 1$)			П,031 ($\beta = 0,75$)		П,032 ($\beta = 0,55$)		П,033 ($\beta = 0,43$)	
	Fкд, Н	V, км/год		Fкд, Н	V, км/ год	Fкд, Н	V, км/ год	Fкд, Н	V, км/ год
С		П							
150	7946	45,1	87,5	-	-	-	-	-	-
200	13734	35,4	70,6	10497	89,0	-	-	-	-
250	20012	31,4	63,9	15892	76,2	12263	95,2	-	-
300	25604	28,6	58,0	21582	67,2	17756	83,8	13734	98,1
350	32373	26,7	54,5	28057	61,8	23544	74,3	19620	88,1
400	38750	25,4	52,2	34727	57,3	29430	67,5	25310	78,9
480	48756	23,8	48,7	44832	53,5	39240	60,2	34531	68,8
550	58370	22,5	46,7	54249	50,5	48363	56,5	43164	62,9
600	65237	21,8	45,4	61018	49,1	54544	54,7	49344	60,2
700	78480	20,8	43,6	74262	46,4	67002	51,6	61313	55,9
800	91822	19,8	41,8	87309	44,5	79567	48,8	73183	52,5

Таблиця 1.4 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового двигуна ЕД141У ($\mu = 3,865$; $D = 1250$ мм)

Ід, А	Схема сполучення тягових електродвигунів. Ступінь ослаблення збудження									
	ПЗ ($\beta = 1$)				П,031 ($\beta = 0,75$)		П,032 ($\beta = 0,55$)		П,033 ($\beta = 0,43$)	
	Fкд, Н	V, км/год			Fкд, Н	V, км/ год	Fкд, Н	V, км/ год	Fкд, Н	V, км/ год
С		СП	П							
200	11375	20,8	43,4	89,0	8400	103,6	-	-	-	-
250	17325	18,3	38,8	79,1	13825	90,8	9625	101,6	-	-
300	22925	16,3	34,6	70,4	19425	79,5	16625	90,4	14700	100,6
350	29050	14,5	30,8	64,2	25375	71,6	21875	81,6	19775	90,4
400	34650	13,3	28,6	57,8	30800	66,4	27125	74,4	25200	81,0
450	40425	12,1	26,7	55,6	36400	62,9	32900	69,2	30975	74,4
500	46550	11,5	25,0	53,1	42175	59,8	38675	65,6	36575	69,3
600	59675	10,4	23,7	50,4	54775	55,0	50575	59,6	48300	62,4
700	72625	10,1	22,7	48,8	67550	52,4	63175	56,2	59850	59,0

1.2 Розв'язання завдання

1.2.1 Побудова швидкісних та електротягових характеристик тягового двигуна

Перерахунок характеристик двигуна на змінені значення діаметра колеса і передатного відношення тягового редуктора виконується за формулами [1]

$$V_2 = \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot V_1; \quad (1.1)$$

$$F_{кд2} = \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1} \cdot F_{кд1}, \quad (1.2)$$

де V_1 , $F_{кд1}$ – швидкість і сила тяги при діаметрі колеса D_1 і передатному відношенні μ_1 (існуючі характеристики);

V_2 , $F_{кд2}$ – швидкість і сила тяги при діаметрі колеса D_2 і передатному відношенні μ_2 (характеристики, які треба побудувати).

Результати підрахунків звести до таблиці 1.5, яка за формою відрізняється від таблиць 1.2, 1.3, 1.4 наявністю колонок для запису сили тяги електровоза F_k .

Таблиця 1.5 – Характеристики тягового електродвигуна
.....($\mu = \dots$, $D = \dots$) та тягова характеристика електровоза.

Ід,А	Схема сполучення тягових електродвигунів.												
	Ступінь ослаблення збудження												
	ПЗ ($\beta = 1$)			П,031 ($\beta = \dots$)			П,032 ($\beta = \dots$)			П,033 ($\beta = \dots$)			
F _{кд} , Н	F _к , кН	V, км/год			F _{кд} , Н	F _к , кН	V, км/го д	F _{кд} , Н	F _к , кН	V, км/го д	F _{кд} , Н	F _к , кН	V, км/ год
		С	СП	П									

Примітка – На електровозах, де застосовані тягові електродвигуни ТЛ-2К, серієсного сполучення немає, тому непотрібна і відповідна графа таблиці 1.5.

На підставі даних таблиці 1.5 будуються швидкісні та електротягові характеристики тягового двигуна $F_{kd}(I_d)$ та $V(I_d)$. Характеристики зобразити на аркуші міліметрового паперу формату А4. Масштаби вибрати самостійно з таким розрахунком, щоб найбільш повно використати поле аркушу. Зразок побудованих характеристик наведений на рисунку А.1 (додаток А).

1.2.2 Розрахунок та побудова тягової характеристики

Силу тяги електровоза для кожного зі значень струму двигуна підрахувати за формулою [1].

$$F_k = m \cdot F_{kd}, \quad (1.3)$$

де m – кількість колісних пар локомотива (тягових електродвигунів).

Отримані результати, перевівши їх у кілоньютони (кН), занести до відповідних колонок таблиці 1.5. Вибираючи з таблиці пари значень F_k і V для ряду значень струму тягового двигуна, побудувати тягову характеристику $F_k(V)$. Тягову характеристику зобразити на аркуші міліметрового паперу формату А3. Масштаби вибрати з розрахунку найбільш повного використання поля аркушу.

1.2.3 Побудова обмежень тягової характеристики

Припустимі значення сили тяги обмежуються кількома чинниками: конструктивною швидкістю, силою зчеплення коліс з рейками, найбільш припустимим струмом тягових двигунів за умовами комутації.

Сила тяги за конструктивною швидкістю визначається значенням останньої. На тяговій характеристиці являє собою вертикальну лінію $V=V_k$, де V_k – конструктивна швидкість локомотива, яка на тягову характеристику, як правило, не наноситься.

Щоб уникнути буксування колісних пар, сила тяги локомотива не повинна перевищувати розрахункову силу зчеплення коліс з рейками. Ця сила називається силою тяги за зчепленням і розраховується за формулою [1]

$$F_{\text{Ксц}} = P \cdot \Psi_{\text{К}} \cdot g, \quad (1.4)$$

де $F_{\text{Ксц}}$ – сила тяги за зчепленням, кН.;

P – розрахункова зчїпна маса локомотива, т;

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

Розрахунковий коефіцієнт зчеплення для ряду значень швидкості, починаючи від нуля, підрахувати за формулами, рекомендованими Правилами тягових розрахунків для поїзної роботи (ПТР) [4]:

- для електровозів з електричними двигунами ТЛ-2К і ЕД141У (ВЛ10, ВЛ11, ДЕ 1)

$$\Psi_{\text{К}} = 0,28 + \frac{3}{50 + 20V} - 0,0007V ; \quad (1.5)$$

- для електровозів з електричними двигунами НБ-406 (ВЛ 8, ВЛ 23)

$$\Psi_{\text{К}} = 0,25 + \frac{8}{100 + 20V}. \quad (1.6)$$

Інтервали значень швидкості брати: 0, 5, 10 км/год, далі через 10 км/год. Точність підрахунку $\Psi_{\text{К}}$ до п'ятого знаку після коми. Результати підрахунків внести до таблиці 1.6.

Переважає більшість локомотивів має ступеневе регулювання сили тяги під час розгону. Отже, сила тяги за зчепленням являє собою найбільше середнє значення сили тяги, яке може бути реалізоване за умовами зчеплення. Однак короткочасно при переході на більш високі позиції регулювання потужності тягових електродвигунів припустима реалізація сили тяги $F_{\text{Ксцmax}}$, яка перевищує $F_{\text{Ксц}}$, і визначається формулою [2]

$$F_{K_{\text{сцmax}}} = (1 + K_{HF}) \cdot F_{K_{\text{сц}}}, \quad (1.7)$$

де K_{HF} – коефіцієнт нерівномірності пуску рf силј. тяги. Для електровозів постійного струму з реостатним пуском $K_{HF} = 0,1$.

На електровозах значення $F_{K_{\text{сцmax}}}$ враховують тільки при вмиканні ступенів ослаблення збудження, тому і розраховують для зони швидкостей, при яких такі вмикання застосовуються.

Ряд значень $F_{K_{\text{сц}}}$ та $F_{K_{\text{сцmax}}}$, підрахованих за формулами (1.4), (1.7), внести до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахунок обмежень сили тяги за зчепленням

V, км/год	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80
Ψ_k										
$F_{K_{\text{сц}}}$, кН.										
$F_{K_{\text{сцmax}}}$, кН	-	-	-	-						

За даними таблиці 1.6 нанести на тягову характеристику залежності $F_{K_{\text{сц}}}(V)$ та $F_{K_{\text{сцmax}}}(V)$

Обмеження сили тяги за струмом визначає ділянку тягової характеристики, на якій забезпечується надійна комутація тягових двигунів. Величина найбільшого припустимого струму $I_{\text{дmax}}$ визначається в експлуатації від 1,6 до 1,8 струму тривалого режиму або задається паспортними даними двигуна. При ступінчастому регулюванні потужності тягових двигунів визначають середнє значення струму під час пуску, $I_{\text{дп}}$ [3].

$$I_{\text{дп}} = \frac{I_{\text{дmax}}}{1 + K_{HI}}, \quad (1.8)$$

де K_{HI} – коефіцієнт нерівномірності пуску за струмом. Для електровозів постійного струму з реостатним пуском K_{HI} дорівнює від 0,08 до 0,10.

Середнє значення струму двигуна під час пуску підрахувати виходячи з обраного за вихідними даними значення $I_{\text{дmax}}$, за формулою (1.8), прийнявши значення коефіцієнта нерівномірності пуску за струмом $K_{HI}=0,08$. Значення сили тяги

одного двигуна $F_{кд}$, відповідні повному збудженню та кожному зі ступенів ослаблення збудження, для значень струму $I_{дп}$ та $I_{дmax}$ визначити з електротягової характеристики (рисунок А.1). Відповідні значення сили тяги електровоза підрахувати за формулою (1.3). Значення сили тяги електровоза перевести в кілоньютони. Підсумки підрахунків звести до таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Розрахунок обмежень сили тяги за струмом

Струм	Сила тяги	Режим збудження			
		ПЗ	ОЗ1	ОЗ2	ОЗ3
$I_{дп}$	$F_{кд}$, Н				
	$F_{к}$, кН				
$I_{дmax}$	$F_{кд}$, Н				
	$F_{к}$, кН				

На підставі даних таблиці 1.5 нанести на тягову характеристику обмеження сили тяги за струмом $I_{д}(V)$ та $I_{дmax}(V)$.

Швидкості, на яких відбувається вмикання ступенів ослаблення збудження, визначаються таким чином, щоб у момент переходу була реалізована максимально можлива сила тяги, обумовлена обмеженням за максимальним струмом чи максимальним зчепленням.

У разі, коли діє обмеження за струмом, сила тяги при рушанні з місця визначається значенням $I_{дmax}$. Зниження струму від $I_{дmax}$ до $I_{дп}$ відбувається при швидкості від 1 до 2 км/год. Далі середнє значення сили тяги під час розгону визначається обмеженням за струмом $I_{дп}$.

Зразки побудованих тягових характеристик для різних випадків взаєморозташування обмежень наведени на рисунках А.2, А.3, А.4 (додаток А).

Підсумкове обмеження сили тяги виділити лінією збільшеної товщини. Тягову характеристику проаналізувати.

1.2.4 Визначення показників тягової характеристики

Розрахунковим називається режим роботи електровоза, який доцільно використовувати при веденні поїзда на розрахунковому підйомі. На електровозах постійного струму

такому режимові відповідає повне збудження паралельного сполучення. Отже, за розрахункову ($F_{кр}$) приймається максимальна сила тяги, яку може реалізувати електровоз на повному збудженні паралельного сполучення тягових двигунів відповідно до діючого обмеження. Розрахунковою (V_p) називається швидкість, за якої електровоз реалізує силу тяги $F_{кр}$. Сила тяги при рушанні з місця $F_{кр}$ визначається діючим обмеженням на швидкості 0 км/год. Швидкості V_1, V_2, V_3 , на яких здійснюється перехід на чергові ступені ослаблення збудження, називаються швидкостями переходів. Усі названі показники визначаються з тягової характеристики (рисунки А.2, А.3, А.4).

Дотичною розрахунковою називається потужність N_k (кВт), яку реалізує електровоз на ободах коліс у розрахунковому режимові. Визначається за формулою [2]

$$N_k = \frac{F_{кр}V_p}{3,6}. \quad (1.9)$$

2 Практичне заняття 2

ПОБУДОВА ТЯГОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЗА З ЕЛЕКТРИЧНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ

2.1 Вихідні дані та завдання на практичну роботу

Для всіх варіантів розрахунки ведуться на одну секцію тепловоза з кількістю рушійних колісних пар $m=6$.

Тип тягового генератора, зчіпна маса тепловоза P , передатне відношення тягового редуктора μ , діаметр коліс тепловоза D , величина максимального короткочасного пускового струму тягового електродвигуна $I_{дmax}$, конструктивна швидкість V_k вибираються за передостанньою цифрою навчального шифру студента з таблиці 2.1.

Параметри зовнішніх характеристик генераторів (напряга на затисках залежно від струмового навантаження) наведені в таблицях 2.2 ... 2.6.

Швидкісні та електротягові характеристики тягових двигунів, розраховані на сталі значення підведеної потужності та визначені значення передатного відношення тягового редуктора та діаметра колеса, наведені в таблицях 2.7 ... 2.11.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

Передостанн я цифра навчального шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип тягового генератора	МПТ-99/47А		ГП-311Б		ГП-312		ГП-311В		ГП-310Б	
$P, т$	114	120	120	126	108	120	114	120	108	114
μ	3,92	4,45	3,98	4,48	2,97	4,57	2,47	2,95	4,73	4,95
$D, м$	1,07	1,04	1,08	1,03	1,08	1,04	1,04	1,06	1,07	1,04
$I_{д max}, А$	1200	1400	1150	1300	1000	1150	1000	1100	900	1100
$V_k, км/год$	120	100	120	100	140	100	140	120	100	100

Таблиця 2.2 – Зовнішня характеристика тягового генератора МПТ-99-47А. $P_{ном}-1350 кВт, I_{\infty}-2460А,$
 $U_{\infty}-549В, I_{Г max}-4100А, I_{ГП}-3340А, \omega-89 с^{-1}$

I, А	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400
U, В	900	899	897	894	890	880	862	830	788	740	681	620	564

I, А	2460	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
U, В	549	515	477	444	417	391	367	346	326

Таблиця 2.3 – Зовнішня характеристика тягового генератора ГП-311Б.
 $P_{ном}-2000 кВт, I_{ГП max}-6600А, I_{\infty}-4320А, U_{\infty}-463В,$
 $\omega-89 с^{-1}$ (П-850 об/хв)

I, А	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4320
U, В	746	742	737	728	712	668	630	594	562	532	504	478	463

I, A	4400	4600	4800	5000	5200	5400	5600	5800	6000	6200	6380
U, B	454	430	409	388	370	350	330	306	272	208	52

Таблиця 2.4 – Зовнішня характеристика тягового генератора ГП-312.

$P_{ном} - 1270 \text{ кВт}$, $I_{ГП max} - 6000 \text{ А}$, $I_{\infty} - 3570 \text{ А}$, $U_{\infty} - 356 \text{ В}$,
 $\omega - 78,5 \text{ с}^{-1}$ (П-750 об/хв)

I, A	0	1000	1400	1600	1700	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
U, B	600	599	598	597	596	594	582	556	524	492	460	431	403

I, A	3400	3570	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000	5200	5400	5500	5600
U, B	376	356	328	304	283	262	243	226	210	197	186	180	170

I, A	5800	5980
U, B	138	40

Таблиця 2.5 – Зовнішня характеристика тягового генератора ГП-311В.

$P_{ном} - 2000 \text{ кВт}$, $I_{\infty} - 4320 \text{ А}$, $U_{\infty} - 465 \text{ В}$, $I_{ГП max} - 6600 \text{ А}$,
 $\omega - 78,5 \text{ с}^{-1}$ (П-750 об/хв)

I, A	2000	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4320	4400	4600
U, B	720	715	712	694	650	608	570	536	508	480	465	456	431

I, A	4800	5000	5200	5400	5600	5800	6000	6100	6200
U, B	409	388	370	352	336	318	282	247	40

Таблиця 2.6 – Зовнішня характеристика тягового генератора ГП-310Б.

$P_{ном} - 780 \text{ кВт}$, $I_{\infty} - 1210 \text{ А}$, $U_{\infty} - 645 \text{ В}$, $I_{ГП max} - 1900 \text{ А}$,
 $\omega - 78,5 \text{ с}^{-1}$ (П-750 об/хв)

I, A	0	300	500	600	700	800	900	1000	1100	1210	1300	1400	1500
U, B	895	893	887	881	872	859	830	767	707	645	598	548	503

I, A	1600	1700	1800	1900
U, B	464	423	365	150

Таблиця 2.7 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна ЕД-118А при сталому значенні номінальної підведеної потужності ($\mu = 4,53$; $D = 1050 \text{ мм}$; $P_{д ел ном} - 212 \text{ кВт}$)

I _д , А	Ступінь ослаблення збудження					
	ПЗ ($\beta = 1$)		О31 ($\beta = 0,6$)		032 ($\beta = 0,36$)	
	Фкд, кН	V, км/ГОД	Фкд, кН	V, км/ГОД	Фкд, кН	V, км/ГОД
300	12,5	56,7	7,2	99,5	-	-

400	18,4	37,6	12,0	58,5	7,5	94,6
500	24,8	27,1	17,3	39,7	12,3	56,5
600	32,4	20,2	23,4	28,6	17,6	38,7
700	40,0	16,0	29,9	21,8	23,1	28,7
800	47,5	13,2	36,8	17,3	28,9	22,4
900	54,9	11,1	43,7	14,3	34,8	18,1
1000	62,5	9,6	50,8	12,0	40,7	15,2
1100	70,1	8,3	57,9	10,3	46,6	13,1

Таблиця 2.8 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна ЕД-118Б при сталому значенні номінальної підведеної потужності ($\mu=4,41$; $D=1050$ мм; $P_{д\text{ел ном}} - 334$ кВт)

I _д , А	Ступінь ослаблення збудження					
	ПЗ ($\beta=1$)		ОЗ1 ($\beta=0,6$)		ОЗ2 ($\beta=0,36$)	
	Фкд, кН	V, км/год	Фкд, кН	V, км/год	Фкд, кН	V, км/год
400	20,0	51,3	12,2	84,7	7,4	136,2
500	26,2	38,9	17,8	58,0	11,8	86,6
600	33,0	30,1	24,2	42,0	17,2	58,8
700	40,75	23,8	31,2	31,7	22,8	43,6
800	49,9	18,9	39,2	24,6	29,3	33,4
900	59,8	15,4	47,6	19,7	36,5	25,9
1000	69,8	12,9	56,0	16,4	43,6	21,1
1100	80,1	11,0	64,6	13,9	50,8	17,6

Таблиця 2.9 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна ЕД-108А при сталому значенні номінальної підведеної потужності ($\mu=2,32$; $D=1050$ мм; $P_{д\text{ел ном}} - 335$ кВт)

I _д , А	Ступінь ослаблення збудження					
	ПЗ ($\beta=1$)		ОЗ1 ($\beta=0,6$)		ОЗ2 ($\beta=0,36$)	
	Фкд, кН	V, км/год	Фкд, кН	V, км/год	Фкд, кН	V, км/год
400	10,5	98,1	6,3	164,6	-	-
500	13,6	75,2	9,1	113,5	-	-
600	17,0	58,7	12,2	83,2	7,1	142,9
700	20,7	47,0	15,5	63,9	9,5	105,0
800	24,7	38,3	19,0	50,8	12,2	80,0
900	29,0	31,9	22,4	41,9	15,4	61,7
1000	33,3	27,1	26,0	35,3	18,7	49,5

1100	37,8	23,3	29,5	30,5	22,0	40,9
------	------	------	------	------	------	------

Таблиця 2.10 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна ЕД-118 при сталому значенні номінальної підведеної потужності ($\mu=4,53$; $D=1050$ мм; $P_{\text{Дел ном}}=130$ кВт)

I _д , А	Ступінь ослаблення збудження					
	ПЗ ($\beta=1$)		О31 ($\beta=0,48$)		032 ($\beta=0,25$)	
	Фкд, кН	V, км/год	Фкд, кН	V, км/год	Фкд, кН	V, км/год
300	12,2	32,8	5,0	77,0	-	-
400	18,8	21,1	9,4	40,6	5,4	70,7
500	25,8	15,1	14,3	26,4	8,6	44,0
600	33,6	11,3	19,5	18,8	12,4	29,9
700	41,8	8,8	25,0	14,4	16,6	21,9
800	50,2	7,2	30,9	11,3	21,4	16,5
900	58,4	6,0	36,8	9,3	26,0	13,3
1000	66,5	5,1	42,8	7,8	30,8	10,9

Таблиця 2.11 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна ЕДТ-200Б при сталому значенні номінальної підведеної потужності ($\mu=4,41$; $D_{\text{н}}=1050$ мм; $P_{\text{Дел ном}}=225$ кВт)

I _д , А	Ступені ослаблення збудження					
	ПЗ ($\beta=1$)		О31 ($\beta=0,48$)		032 ($\beta=0,25$)	
	Фкд, кН	V, км/год	Фкд, кН	V, км/год	Фкд, кН	V, км/год
400	12,6	44,5	8,1	80,8	5,6	117,5
500	17,7	37,4	11,8	57,5	8,5	77,0
600	22,3	31,0	15,6	43,0	11,8	56,1
700	27,1	25,6	20,0	33,7	15,5	43,4
800	32,1	21,2	24,3	27,5	19,2	35,2
900	37,1	17,8	28,5	23,5	23,0	29,7
1000	42,0	15,4	32,8	20,5	26,7	26,1
1100	47,0	13,6	37,2	17,8	30,4	23,3
1200	51,9	12,0	41,4	15,7	34,2	21,0

На підставі вихідних даних:

- побудувати зовнішню та потужнісну характеристики тягового генератора;

- підібрати тип тягового електродвигуна та розрахувати схему сполучення тягових електродвигунів;
- розрахувати і побудувати швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна на фактичне значення підведеної потужності та змінні значення передатного відношення тягового редуктора і діаметра колеса;
- побудувати тягову характеристику тепловоза з усіма обмеженнями;
- визначити розрахункову силу тяги, розрахункову швидкість, швидкість виходу на автоматичну характеристику, силу тяги при русанні з місця; підрахувати дотичну потужність тепловоза на розрахунковому режимі.

2.2 Розв'язання завдання

2.2.1 Побудова зовнішньої та потужнісної характеристик тягового генератора

Потужність тягового генератора P_G для кожного зі значень струму, наведеного в таблиці зовнішньої характеристики (таблиці 2,2...2,6), визначити за формулою

$$P_G = U_G I_G, \quad (2.1)$$

де U_G - напруга на затискачах тягового генератора, В;
 I_G - струм тягового генератора, А.

Підсумки підрахунків звести до таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Зовнішня та потужнісна характеристики тягового генератора

I_G, A											
U_G, A											
$P_G, кВ$											
t											

За даними таблиці 2.12 побудувати графічні залежності $U_G(I_G)$ (зовнішня характеристика тягового генератора) та $P_G(I_G)$ (зовнішня потужнісна характеристика тягового генератора). Характеристики зобразити на аркуші міліметрового паперу формату А-4. Масштаби вибрати самостійно з розрахунку найбільш повного використання поля аркушу. Для більш компактного розташування діаграм припустимо на початку координат брати значення струму генератора (I_G) більше нуля. Зразок побудованих залежностей наведений на рисунку Б.1 (додаток Б).

2.2.2 Вибір типу тягових електродвигунів

Загальна номінальна електрична потужність тягових двигунів не повинна перевищувати номінальну потужність тягового генератора або дорівнювати їй, тобто дотримана умова

$$P_{G \text{ ном}} \geq P_{D \text{ ел ном}} m, \quad (2.2)$$

де m – кількість тягових електродвигунів (рушійних колісних пар) на секції тепловоза.

Відповідно, номінальна електрична потужність двигуна

$$P_{D \text{ ел ном}} \leq \frac{P_{G \text{ ном}}}{m}. \quad (2.3)$$

Тип тягового електродвигуна підібрати за таблицею 2.13, на підставі підрахунку за формулою (2.3).

Таблиця 2.13 – Основні параметри тягових електродвигунів тепловозів

Параметри	Тип тягового електродвигуна				
	ЕДТ-200Б	ЕД-118Б	ЕД-118А	ЕД-108А	ЕД-118
Серія тепловоза	ТЕЗ	2ТЕ10М	М62	ТЕП60	ТЕМ2
Номінальне значення	225	334	212	335	130

підведеної електричної потужності $P_{\text{дел ном}}$, кВт					
Номінальна механічна потужність на валу $P_{\text{ном}}$, кВт	206	305	192	305	110
Струм тривалого режиму I_{∞} , А	820	720	595	720	605
Напруга тривалого режиму U_{∞} , В	275	463	356	465	215

2.2.3 Розрахунок схеми сполучення тягових електродвигунів

Електрична схема сполучення тягових електродвигунів розраховується виходячи з умов відповідності їх параметрів параметрам генератора. Двигуни можуть вмикатися паралельно чи на змішане сполучення (седієс-паралельне). Послідовне (седієсне) сполучення на сучасних магістральних тепловозах не застосовується. Кількість галузок паралельного сполучення двигунів визначається для умов тривалого (номінального) режиму

$$p = \frac{I_{Г\infty}}{I_{д\infty}}. \quad (2.4)$$

Отримане значення p округляється до цілого числа у бік збільшення з тим, щоб на режимі номінальної потужності генератора струм електродвигуна не вийшов поза межі значення для тривалого режиму. При загальній кількості двигунів m кількість двигунів, увімкнених послідовно в одній паралельній галузці

$$n = \frac{m}{p}. \quad (2.5)$$

Крім режиму струмового навантаження перевіряється відповідність напруг. За номінального режиму генератора

напруга, що припадає на один двигун, не може бути більшою за напругу тривалого режиму для двигуна, тобто виконана умова

$$\frac{U_{г\infty}}{n} \leq U_{д\infty}. \quad (2.6)$$

Завдання полягає у визначенні кількості паралельних галузок електричного кола за формулою (2.4), кількості послідовно увімкнених тягових двигунів у одній галузці за формулою (2.5) та перевірці відповідності напруг за формулою (2.6). У разі дотримання всіх названих умов тягові електродвигуни та схема їх сполучення підібрані і розраховані правильно. Параметри тривалого режиму генераторів наведені в таблицях 2.2 ... 2.6.

2.2.4 Побудова швидкісних та електротягових характеристик тягового двигуна

Характеристики вибраного типу тягового електродвигуна (наведені в таблицях 2.7...2.11) перерахувати на зовнішню характеристику заданого типу тягового генератора і задані значення передатного відношення тягового редуктора та діаметра колеса, скориставшись формулами [2]

$$V_2 = V_1 \frac{P_{д\text{ ел}}}{P_{д\text{ ел ном}}} \cdot \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2}, \quad (2.7)$$

$$F_{кд2} = \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1} \cdot F_{кд1}, \quad (2.8)$$

де V_1 , $F_{кд1}$ – швидкість і сила тяги при діаметрі колеса D_1 , передатному відношенні μ_1 і сталому значенні номінальної підведеної потужності (існуючі характеристики);

V_2 , $F_{кд2}$ – швидкість і сила тяги при діаметрі колеса D_2 і передатному відношенні μ_2 (характеристики, що треба побудувати);

$P_{\text{дел}}$ - електрична потужність, підведена до двигуна від тягового генератора тепловоза згідно з зовнішньою потужнісною характеристикою останнього.

$$P_{\text{дел}} = \frac{P_{\text{Г}}}{m}. \quad (2.9)$$

Результати підрахунків звести до таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна....., перераховані на зовнішню характеристику тягового генератора..... (μ =.....; D =.....)

I _д , А	I _Г , А	P _Г , кВт	P _{дел} , кВт	Ступені ослаблення збудження					
				ПЗ(β=1)		ОЗ1(β=)		ОЗ2(β=)	
				F _{кд} , кН	V, км/год	F _{кд} , кН	V, км/год	F _{кд} , кН	V, км/год

Таблицю 2.14 заповнювати в такій послідовності.

Ряд значень I_д перенести з характеристики підбраного типу тягового електродвигуна. Відповідний їм ряд значень струму тягового генератора I_Г підрахувати відповідно до кількості галузок паралельного сполучення тягових електродвигунів в електричній схемі за формулою

$$I_{\text{Г}} = I_{\text{д}} \cdot p. \quad (2.10)$$

Ряд значень потужності генератора P_Г, відповідних значенням I_Г, визначити з потужнісної характеристики (рисунок Б.1).

Відповідний ряд значень електричної потужності тягового двигуна P_{дел} визначити за формулою (2.9).

Ряд значень F_{кд} і V, відповідних значенням I_д і режимам збудження (ПЗ,ОЗ1,ОЗ2), підрахувати за формулами (2.7),(2.8).

На підставі даних таблиці 2.14 будуються графічні залежності $F_{кд}(I_d)$ та $V(I_d)$. Принцип побудови аналогічний з електричною тягою. Швидкісні та електротягові характеристики зобразити на аркуші міліметрового паперу формату А-4. Масштаби підібрати з розрахунку зручного взаєморозташування характеристик та раціонального використання поля аркушу. Зразок побудованих характеристик наведений на рисунку Б.2 (додаток Б).

2.2.5 Розрахунок і побудова тягової характеристики

Теоретичні засади побудови тягових характеристик тепловозів наведені в [2]. Розрахунки і побудову проводити в такій послідовності.

З потужнісної характеристики тягового генератора визначити граничні значення його струму $I_{ГРmin}$ та $I_{ГРmax}$, у межах яких потужність підтримується близькою до сталої. Названі межі позначити на його зовнішній характеристиці (точки 2 і 5 на рисунку Б.1).

Визначити значення струму генератора, за яких здійснюються прямі і зворотні переходи на ступені ослаблення збудження – $I_{Г1}$, $I_{Г2}$, $I_{Г3}$, $I_{Г4}$, скориставшись формулами і співвідношеннями [2]

$$I_{Г2} = I_{ГРmin}; \quad (2.11)$$

$$I_{Г1} = \frac{I_{Г2}}{K_{РП-1}}; \quad (2.12)$$

$$I_{Г4} = I_{Г\infty}; \quad (2.13)$$

$$I_{Г3} = I_{Г4} \cdot K_{РП-2}, \quad (2.14)$$

де $I_{Г1}$ – струм генератора, за якого відбувається вмикання ОЗ1 (вмикання реле переходів РП-1);

$I_{Г2}$ - струм генератора, за якого відбувається вмикання ОЗ2 (вмикання реле переходів РП-2);

$I_{Г3}$ - струм генератора, за якого відмикається ОЗ2 (відмикання реле переходів РП-2);

$I_{Г4}$ – струм генератора, за якого відмикається ОЗ1 (відмикання реле переходів РП-1);

$K_{РП-1}$, $K_{РП-2}$ – коефіцієнти чутливості реле переходів, значення яких залежно від особливостей характеристик тягових електродвигунів знаходиться в межах від 0,87 до 0,95.

Струм $I_{Г5}$ відповідає верхній межі гіперболічної частини зовнішньої характеристики тягового генератора, тобто $I_{Г5}=I_{ГРmax}$.

Знайти значення струму двигуна, за яких здійснюються прямі і зворотні переходи на ступені ослаблення збудження та перехід при розгоні на гіперболічну ділянку зовнішньої характеристики генератора – $I_{Д1}$, $I_{Д2}$, $I_{Д3}$, $I_{Д4}$, $I_{Д5}$, урахувавши схему сполучення тягових двигунів, за формулою

$$I_{Д} = \frac{I_{Г}}{P}. \quad (2.15)$$

За швидкісною характеристикою визначити швидкості переходів та швидкість виходу на гіперболічну ділянку зовнішньої характеристики генератора – V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 (відповідні підрахованим вище значенням струму, рисунок Б.2).

Порівняти співвідношення швидкостей прямих і зворотних переходів на предмет виключення можливості „дзвінкової” роботи реле переходів. Для дотримання наведеної вимоги швидкість вимикання ослабленого збудження має бути не менше, як на 4 км/год нижчою за швидкість вмикання [7]. Тобто, $V_1-V_4 \geq 4$; $V_2-V_3 \geq 4$. При невиконанні цієї умови значення струму переходу має бути скориговано (варіацією значень коефіцієнтів $K_{РП-1}$, $K_{РП-2}$).

Примітка - В окремих випадках, коли потужність тягових електродвигунів відносно невелика (до 200 кВт) при високому значенні передатного відношення (більше 3,5), виконання наведених вище умов щодо переходів на ослаблене збудження неможливе. У такому разі припустимо збільшення коефіцієнта $K_{РП-1}$ до 0,96, перевищення струму $I_{Г4}$ над струмом $I_{Г\infty}$ до 10% і скорочення інтервалу між швидкостями V_1 , V_4 до 2 км/год [2]. У разі перевищення струму $I_{Г4}$ над струмом тривалого режиму $I_{Г\infty}$ струм $I_{Г3}$ має бути не більшим за $I_{Г\infty}$.

Визначити межі інтервалів струму тягового двигуна та відповідні їм межі інтервалів швидкості руху, за яких тягові

двигуни працюють на ПЗ, 031 та 032. Урахувати, що при переході з ПЗ на 031 струм збільшується від $I_{Д1}$ до $I_{Д1}'$, з 031 на 032 – від $I_{Д2}$ до $I_{Д2}'$, а при зворотних переходах зменшується від $I_{Д3}$ до $I_{Д3}'$ та від $I_{Д4}$ до $I_{Д4}'$ при переходах 032 – 031 та 031 – ПЗ, відповідно.

Задавшись рядом проміжних значень струму тягового двигуна у межах визначених вище інтервалів, за допомогою швидкісних та електротягових характеристик і формули (1.3) визначити відповідні їм значення сили тяги тепловоза і швидкості руху. Результати звести до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Тягова характеристика тепловоза

$I_{Д}, А$	Ступені ослаблення збудження								
	ПЗ($\beta=1$)			031($\beta=$)			032($\beta=$)		
	$F_{КД}$, кН	$F_{К}$, кН	V , км/ год	$F_{КД}$, кН	$F_{К}$, кН	V , км/ год	$F_{КД}$, кН	$F_{К}$, кН	V , км/ год
I_{max}				-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-
$I_{Д5}$	$F_{К5}$	$F_{КД5}$	V_5	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-
$I_{Д4}$				$F_{К4}$	$F_{КД4}$	V_4	-	-	-
							-	-	-
$I_{Д3}$							$F_{К3}$	$F_{Д3}$	V_3
$I_{Д'4}$	$F_{К'4}$	$F_{К'Д4}$	V_4						
$I_{Д'3}$				$F_{К3'}$	$F_{КД3'}$	V_3			
$I_{Д'1}$				$F_{К1'}$	$F_{КД'1}$	V_1			
$I_{Д2'}$							$F_{К2'}$	$F_{КД2'}$	V_2
$I_{Д1}$	$F_{К1}$	$F_{КД1}$	V_1						
	-	-	-						
$I_{Д2}$	-	-	-	$F_{К2}$	$F_{КД2}$	V_2			
	-	-	-	-	-	-			
$I_{Д6}$	-	-	-	-	-	-	$F_{К6}$	$F_{КД6}$	V_6

Примітка – Перший рядок I_{max} відповідає максимальному значенню струму відповідно характеристик тягового двигуна чи тягового генератора.

За даними таблиці (2.15), вибираючи пари значень $F_{К}$ і V для ряду значень струму тягового двигуна, побудувати тягову характеристику $F_{К}(V)$. Характеристику зобразити на аркуші

міліметрового паперу формату А-4. Масштаби вибрати з розрахунку найбільш повного використання поля аркушу. Прямі і зворотні переходи на ступені ослаблення збудження позначити стандартними символами, встановленими ПТР [4]. Зразок побудованої тягової характеристики тепловоза наведений на рисунку Б.3 (додаток Б).

2.2.6 Побудова обмежень тягової характеристики

Тягова характеристика тепловоза має обмеження: за зчепленням, за струмом тягового генератора, за струмом тягових двигунів, за конструктивною швидкістю.

Обмеження за зчепленням розраховується і будується за тими ж принципами, що і для електричної тяги. Відмінність полягає у підрахунку розрахункового коефіцієнта зчеплення. Тепловози мають менший діаметр коліс та деякі специфічні конструктивні особливості, що зумовлює, порівняно з електровозами, менше значення коефіцієнта зчеплення. Для більшості серій тепловозів розрахунковий коефіцієнт зчеплення визначається за емпіричною формулою [4].

$$\psi_k = 0,118 + \frac{5}{27,5 + V} \quad (2.16)$$

Розрахунковий коефіцієнт зчеплення підрахувати для ряду значень швидкості, починаючи від нуля. Інтервали брати: 0, 3, 5, 10 км/год, далі через 10 км/год. Найбільше значення швидкості, для якого треба підрахувати ψ_k , визначається з умови перетинання залежностей $F_{кст}(V)$ і $F_k(V)$. Силу тяги за зчепленням підрахувати за формулою (1.4). Підсумки звести до таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Розрахунок обмежень сили тяги за зчепленням

V, км/год	0	3	5	10	20	30	40	50		
ψ_k										
$F_{кст}, кН$										

За даними таблиці 1.6 нанести на тягову характеристику залежність $F_{\text{Ксц}}(V)$.

Для побудови обмежень за максимальним струмом треба привести граничні параметри струму генератора до струму двигуна за формулами

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{Д ГП max}} &= \frac{I_{\text{ГПmax}}}{P}, \\ I_{\text{Д Г max}} &= \frac{I_{\text{Гmax}}}{P}, \\ I_{\text{Д ГП}} &= \frac{I_{\text{ГП}}}{P}, \end{aligned} \right\} (2.17)$$

де $I_{\text{ДГПmax}}$, $I_{\text{ДГmax}}$, $I_{\text{ДГП}}$ - значення струму тягового двигуна, приведені до відповідних значень струму генератора.

Середнє значення пускового струму тягового двигуна $I_{\text{ДП}}$ визначити за формулою (1.8), прийнявши $K_{\text{НП}}=0,15$ ($I_{\text{Дmax}}$ визначене вихідними даними). Отримані значення порівняти і взяти до розрахунку найменші. При цьому можливі такі варіанти:

- а) $I_{\text{ДГП}} < I_{\text{ДП}}$ - до розрахунку береться $I_{\text{ДГПmax}}$;
- б) $I_{\text{ДП}} < I_{\text{ДГПmax}} < I_{\text{Дmax}}$ - до розрахунку беруться $I_{\text{ДП}}$ та $I_{\text{ДГПmax}}$;
- в) $I_{\text{Дmax}} < I_{\text{ДГПmax}}$ - до розрахунку беруться $I_{\text{ДП}}$ та $I_{\text{Дmax}}$;
- г) $I_{\text{ДП}} < I_{\text{ДГП}}$ - до розрахунку беруться $I_{\text{ДП}}$ та $I_{\text{Дmax}}$;
- д) $I_{\text{ДГП}} < I_{\text{ДП}}$ - до розрахунку беруться $I_{\text{ДГП}}$ та $I_{\text{ДГmax}}$.

За взятими до розрахунку значеннями струму визначити з електротягової характеристики $F_{\text{К}}(I_{\text{Д}})$ режиму повного збудження відповідні значення сили тяги електродвигуна, за формулою (1.3), – відповідні значення сили тяги тепловоза. Отримані значення $F_{\text{К}}$ будуть точками перетину струмових обмежень з тяговою характеристикою. Самі обмеження являють собою горизонтальні прямі лінії. Обмеження за струмом нанести на тягову характеристику.

Підсумкове обмеження сили тяги виділити лінією збільшеної товщини. Тягову характеристику проаналізувати.

2.2.7 Аналіз тягової характеристики та визначення її показників

Розрахунковим називається режим роботи тепловоза, за якого струм генератора відповідає тривалому режимові $I_{Г\infty}$; останній задається паспортними даними генератора. Сила тяги, яку при цьому реалізовує тепловоз, називається розрахунковою. Відповідний значенню $I_{Г\infty}$ струм електродвигуна $I_{ДГ\infty}$ визначається згідно з формулою (2.15). Розрахункову силу тяги одного двигуна $F_{КДР}$ (відповідну струму $I_{ДГ\infty}$) визначити з електротягової характеристики режиму повного збудження. Розрахункову силу тяги $F_{КР}$ підрахувати згідно з формулою (1.3).

Розрахунковою швидкістю V_p називається те її значення, за якого тепловоз реалізує розрахункову силу тяги $F_{КР}$.

Сила тяги при рушанні з місця $F_{КТР}$ визначається ідентично електричній тязі.

Виходом на автоматичну характеристику називається момент вмикання машиністом крайньої (найвищої) позиції контролера. На тяговій характеристиці він відповідає перетину діючого обмеження із залежністю $F_K(V)$. Швидкість V_A , за якої відбувається вихід, називається швидкістю виходу на автоматичну характеристику.

Дотичну розрахункову потужність тепловоза підрахувати за формулою (1.9).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Осипов С.И., Миронов К.А., Ревич В.И. Основы локомотивной тяги. – М: Транспорт, 1985. – 440 с.
- 2 Тяга поездов / В.В. Деев, Г.А. Ильин, Г.С. Афонин; Под ред. В.В. Деева. – М: Транспорт, 1987. – 264 с.
- 3 Бабичков А.М., Егорченко В.Ф. Тяга поездов и применение специализированных электронных вычислительных машин для тяговых расчетов. – М: Всесоюзное издательско-полиграфическое объединение МПС, 1962. – 263 с.
- 4 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М: Транспорт, 1985. – 287 с.

Рисунок А.2 – Тягова характеристика електровоза постійного стру

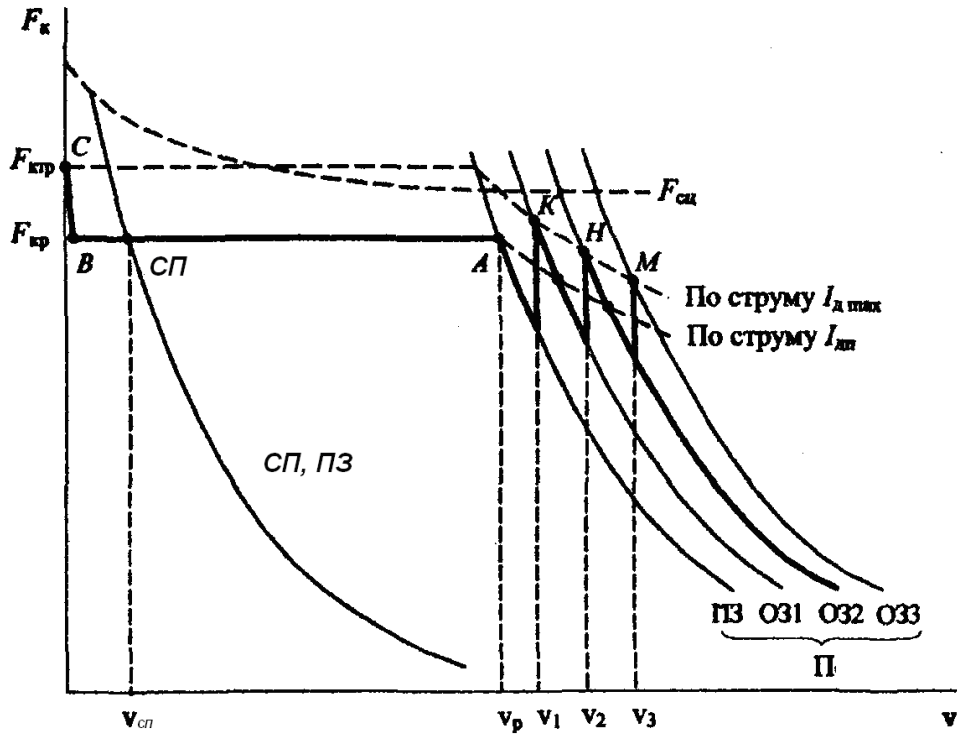


Рисунок А.3 – Тягова характеристика електровоза постійного струму для випадку, коли діє тільки обмеження за струмом

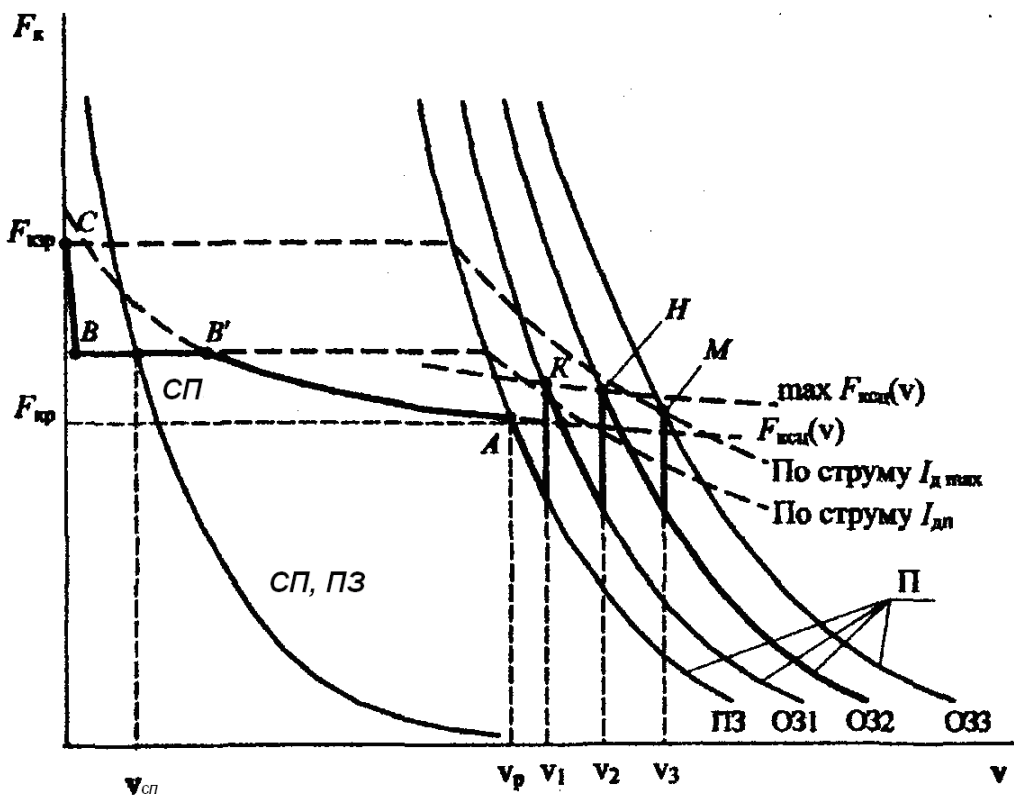


Рисунок А.4 – Тягова характеристика електровоза постійного струму для випадку, коли обмеження за зчепленням і струмом перетинаються
Додаток Б

Ілюстрації до побудови тягової характеристики тепловоза

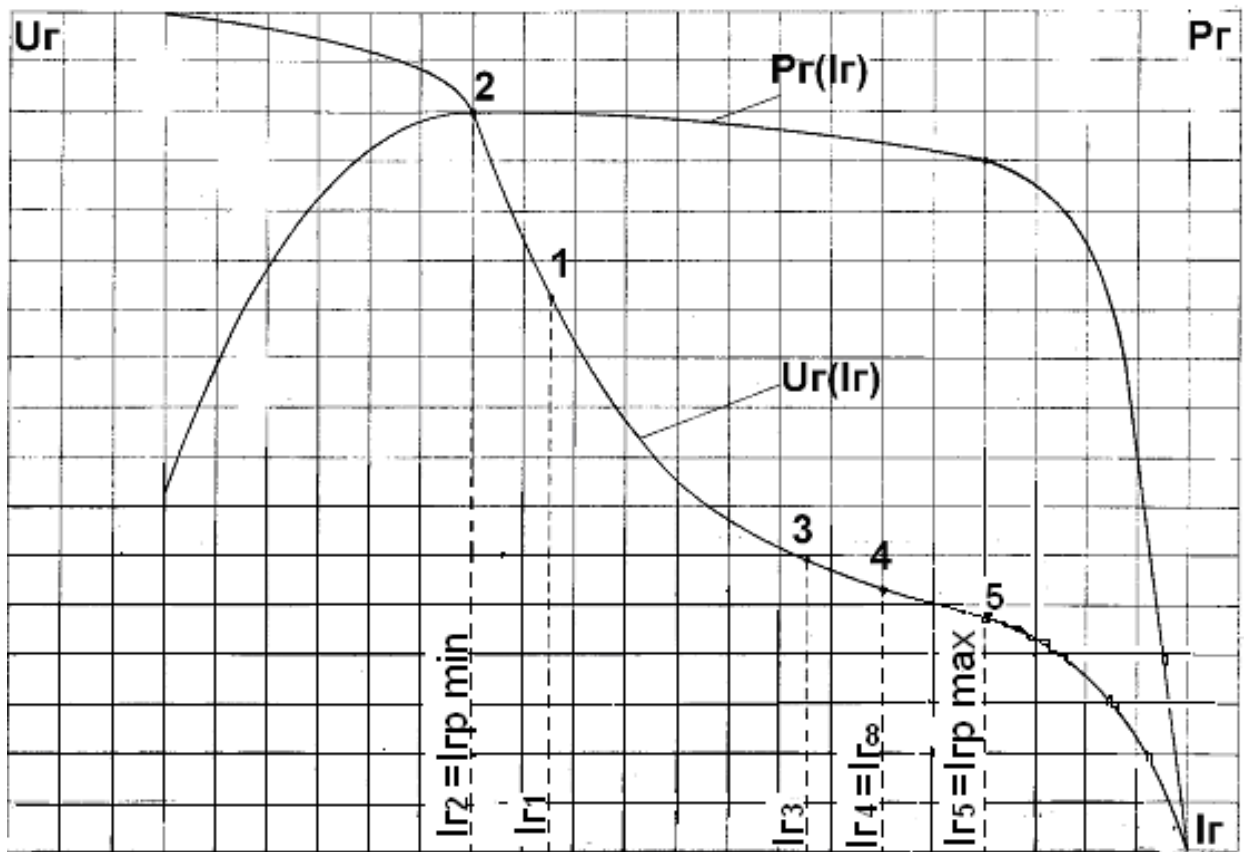


Рисунок Б.1 - Зовнішня і потужнісна характеристики тягового генератора тепловоза

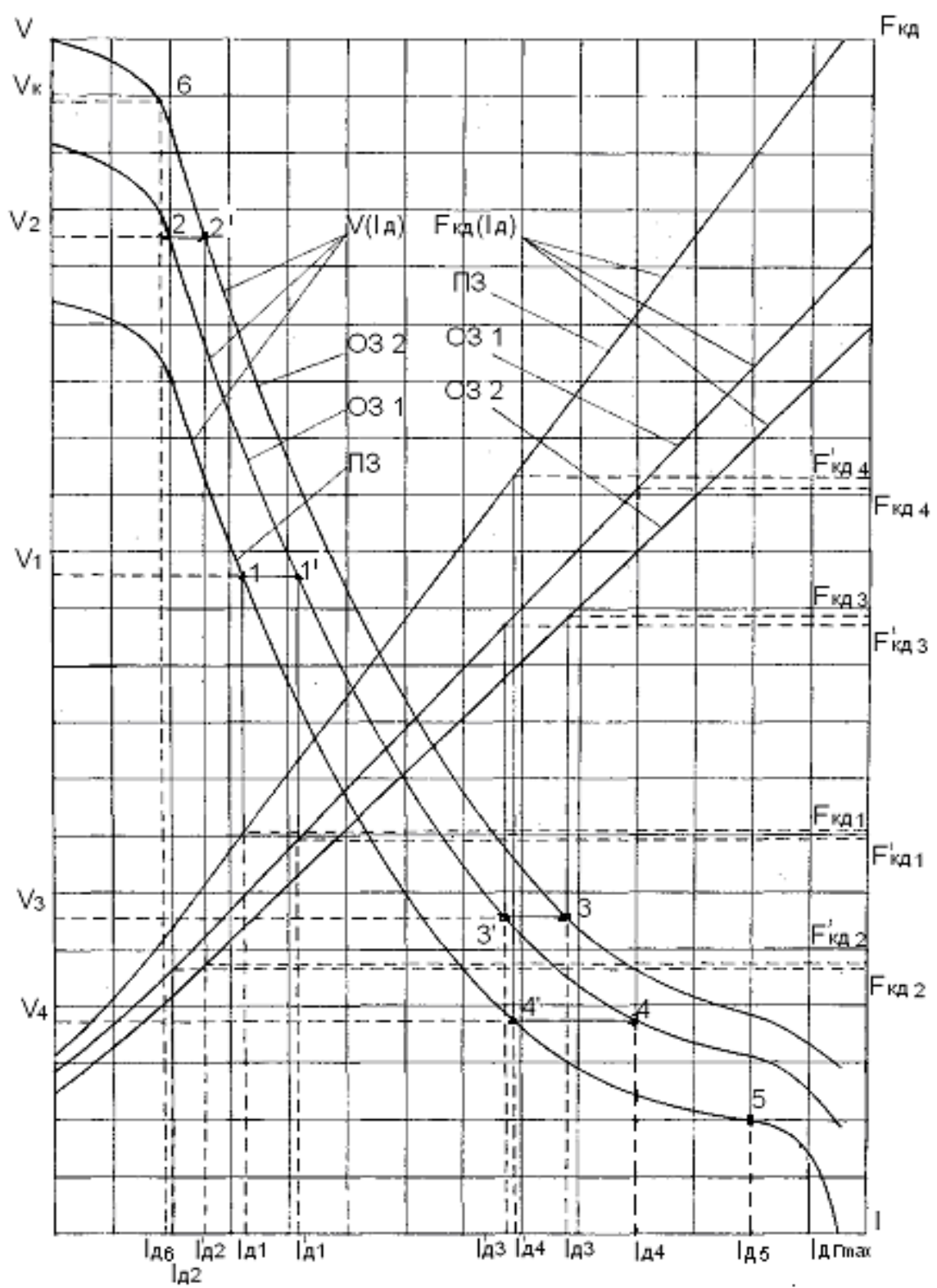


Рисунок Б.2 – Швидкісні та електротягові характеристики тягового електродвигуна тепловоза, перераховані на зовнішню характеристику тягового генератора

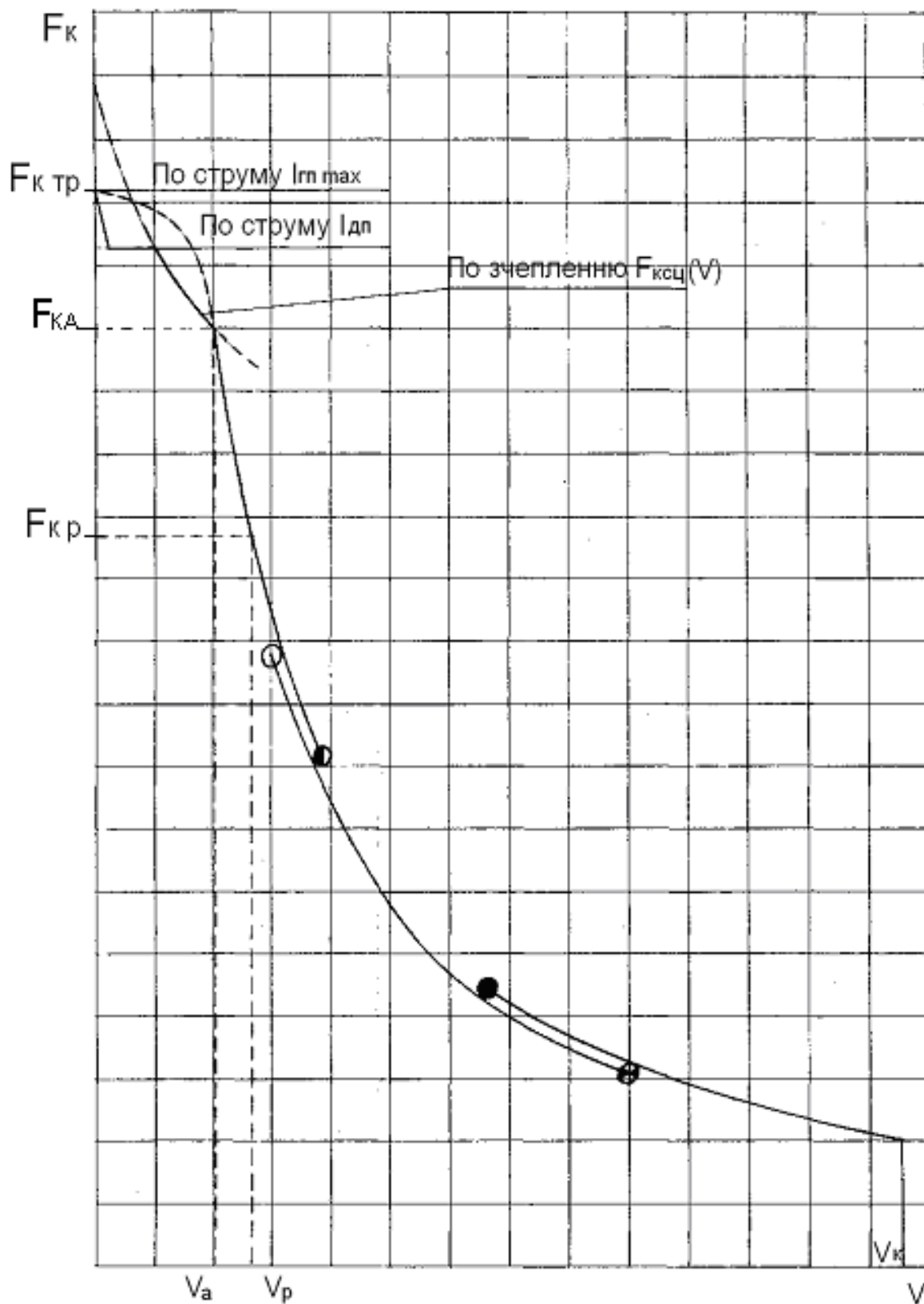


Рисунок Б.3 – Тягова характеристика тепловоза з електричною передачею