

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

П. М. Пушков, Ю.В. Мінєєва

Методичні вказівки до курсової роботи
з дисципліни

«Основи електричної тяги»

(для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання та
слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки

0922 (6.050702 – "Електромеханіка"))

ХАРКІВ – ХНАМГ - 2009

Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Основи електричної тяги» (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 0922 (6.050702 – "Електромеханіка"))/ Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: доц., к.т.н. П.М. Пушков, доц., к.т.н. Ю. В. Мінеєва– Х.: ХНАМГ, 2009. – 69 с.

Укладачі: П.М. Пушков ,
Ю.В. Мінеєва

Рецензент: В.П. Андрійченко, доц., к.т.н.

Рекомендовано кафедрою ЕТ,
протокол №11 від 28.04.09р.

ВСТУП

Електрична тяга є одним з найбільш ефективних видів тяги на транспорті. Знання теорії електричної тяги дозволяє вирішувати питання підвищення ефективності, надійності і безпеки роботи рухомого складу міського електричного транспорту.

Правильний вибір параметрів електричної тяги можливий тільки на підставі даних тягових розрахунків, що визначають залежності між величинами, які характеризують рух потягів, а також експлуатаційні й енергетичні показники їхньої роботи.

Метою курсової роботи є одержання студентами практичних навичок виконання перевірочних тягових розрахунків за заданими характеристиками різних типів електрорухомого складу і заданим профілем ділянки шляху. Вона призначена допомогти студентам у розв'язанні цієї задачі.

Курсова робота є самостійною творчою роботою студента. За прийняті в роботі інженерні рішення, правильність розрахунків, дотримання ДСТ, грамотність оформлення матеріалів, узгодженість креслень з розрахунковими даними відповідає студент, який виконував роботу.

Курсова робота вважається закінченою, якщо вона виконана в повному обсязі і відповідно до виданого завдання (додаток 1).

1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

1.1. Завдання і тематика

Курсову роботу з дисципліни "Основи електричної тяги" виконують паралельно з вивченням дисципліни, що сприяє глибокому розумінню навчального матеріалу. Курсова робота має на меті:

- навчити студентів застосовувати отримані теоретичні знання у розв'язанні конкретних інженерних задач;
- навчити студентів користуватися технічною літературою, довідниками, ДСТ, нормами та іншими допоміжними проектними матеріалами;
- навчити студентів викладати свої думки стосовно питань курсової роботи, що виконується у вигляді пояснювальної записки й обґрунтувати прийняті рішення;
- підготувати студентів до самостійної роботи над дипломним проектом.

У курсовій роботі студенти виконують розрахунок і побудову кривих руху і споживання потягом струму, розрахунок витрати енергії на рух потягу і визначення нагрівання тягових двигунів в умовах експлуатації.

1.2. Послідовність виконання

Тягові розрахунки виконують у такій послідовності:

1. Випрямлення профілю заданої ділянки шляху.
2. Розрахунок і побудова кривих (характеристик), прискорюючих і уповільнюючих сил, що діють на потяг у режимах тяги, вибігу і гальмування.
3. Розрахунок і побудова кривих руху потягу і споживання потягом струму.
4. Розрахунок загальної і питомої витрати електричної енергії на рух потягу.
5. Розрахунок нагрівання тягових двигунів.

Перед видачею завдання на курсову роботу проводиться лекція-бесіда з групою або потоком, де викладаються зміст і обсяг проекту, послідовність виконання роботи, вимоги, запропоновані до курсової роботи і її оформлення, пе-

релік літератури і довідкових матеріалів та інші питання, відображені в цих методичних указа́вках.

Протягом усього терміну виконання роботи проводяться відповідно до розкладу консультації (2 години щотижня). Відвідування студентом консультацій є обов'язковим. Студенти повинні приходити на консультації із заздалегідь підготовленими запитаннями. Під час консультацій викладач задає студенту запитання, пропонуючи йому тим самим продумати методику розрахунку. Одночасно викладач обов'язково переглядає виконану частину курсової роботи. Тільки після його дозволу ця частина оформляється студентом остаточно.

Викладач відзначає в журналі виконання етапів роботи для обліку виконання навчального графіка студентами. Зразковий графік виконання роботи і відносний обсяг окремих етапів можна подати в такому вигляді:

Пункт завдання	Відсоток від загального обсягу роботи	Тиждень семестру закінчення пункту завдання
1,2	5	2
3	5	3
4	5	4
5,6	5	5
7	5	6
8	5	7
9	30	10
10,11	10	11
12	10	12
13	10	13
Пояснювальна записка й оформлення	10	14

На п'ятнадцятому тижні студент передає викладачеві всю роботу у закінченому й оформленому вигляді для перевірки і підпису.

Захист роботи проводиться на тижнях перед комісією з 2-3 викладачів. Студент протягом 5-7 хвилин доповідає зміст роботи й особливості прийнятих рішень. Далі студент відповідає на запитання викладачів. Викладачі повинні вимагати знання особливостей типу рухомого складу, для якого проведені роз-

рахунки, обґрунтування прийнятих рішень, оцінки отриманих результатів. За результатами захисту і виконаного проекту викладачами виставляється оцінка за чотирибальною системою.

1.3. Зміст курсової роботи і її оформлення

Курсова робота складається з пояснювальної записки і креслень. Пояснювальна записка на 20...25 сторінках має бути оформлена відповідно до вимог ДСТ. Аркуші, вкладені в обкладинку, повинні бути охайно і надійно скріплені. Пояснювальна записка містить завдання з вихідними даними, розрахункові вирази, приклади розрахунків і таблиці з проміжними величинами. Кінцеві значення отриманих величин повинні бути пояснені. Розрахунки слід виконувати в такій послідовності: вказується величина, що підлягає обчисленню, надається розрахункова формула, потім проставляються чисельні значення усіх величин, що входять до цієї формули, у погоджених одиницях виміру, після чого записується результат, тобто значення величини, що розраховується, з обов'язковою вказівкою одиниці її виміру, наприклад, середня швидкість руху потягу перегоном (ходова швидкість)

$$V_x = \frac{l_{\text{пер}}}{t_x} \cdot 3,6 = \frac{400}{80} \cdot 3,6 = 18 \text{ км/год.}$$

Текст пояснювальної записки повинен бути написаний темним чорнилом або пастою, грамотно, без скорочення слів. Перенесення слів у заголовках не допускається. Пояснювальну записку пишуть на стандартному папері з однієї сторони із залишенням берегів праворуч для зауважень і ліворуч для підшивки. Пояснювальна записка повинна мати заголовний аркуш (див. додаток 2) і зміст.

Усі графіки виконують на міліметровому папері чорним олівцем. Криві креслять на аркушах форматів А3 (297х420) і А4 (210х297). Наявність штампів на кресленнях обов'язкова (див. додаток 3)

Креслення повинні містити такі розрахункові криві:

1. Криві питомого основного опору руху $w_o(v)$ і $w_{ox}(v)$.

2. Електромеханічні характеристики двигуна на ободі колеса $v(I)$, $F_k(I)$, $\eta(I)$ з нанесенням режиму пуску .
3. Характеристики питомої сили тяги $f(v)$ і питомої прискорюючої сили $f_o(v)$ для прямого і горизонтального шляху.
4. Характеристики питомої сили реостатного гальмування $b(v)$ і питомої сповільнюючої сили $b_o(v)$ при реостатному гальмуванні.
5. Характеристику питомої сповільнюючої сили $b_{ок}(v)$ при екстреному гальмуванні потяга.
6. Криві визначення припустимої швидкості руху (вирішення гальмової задачі).
7. Криву спожитого потягом струму $I_d(v)$.
8. Криві руху $v(l)$, $t(l)$, $I_d(l)$ разом з кривими прискорюючих і сповільнюючих сил $f_o(v)$, $w_{ox}(v)$, $b_o(v)$ і залежністю $v_{max}(i)$.

Склад пояснювальної записки

1. Титульний аркуш.
2. Завдання із вихідними даними.
3. Реферат.
4. Зміст курсової роботи з послідовним переліком заголовків, розділів, підрозділів, додатків та сторінок.
5. Вступ.
6. Текстова частина (розділи записки).
7. Заключення.
8. Список літератури.
9. Графічний матеріал.

2.МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

2.1. Вибір і розрахунок масштабів

Масштаб графічних побудов (графіків) являє собою відношення довжини відрізка лінії креслення к одиниці виміру фізичної величини, що зображена.

Для побудови характеристик і кривих руху треба вибрати і розрахувати зручні для побудови і використання масштаби сил, шляху, швидкості та часу.

При побудові електромеханічних характеристик тягового двигуна $V(I), F_{\kappa}(I), \eta(I)$ (рис. 3) рекомендуються наступні значення масштабів:

Масштаб швидкості руху $m_v = 2$ мм/(км/год);

Масштаб сили тяги $m_F = 0,005$ чи $0,004$ мм/Н;

Масштаб сили струму $m_I = 0,4$ чи $0,3$ мм/А.

При вказаних значеннях масштабів графіки можуть розташовуватися на листі міліметрового паперу формату А4.

Значення масштабів можна вибирати і другими, залежно із граничних значень величин, що зображені та розміру листа паперу.

При побудові кривих руху $V(l)$ (рис. 7,9) графічним способом обрані масштаби швидкості m_v , мм/(км/год), шляху m_l , мм/м, та питомої рівнодіючої сили m_f , мм/(Н/кН), повинні задовольняти рівності

$$m_f = \frac{0,127 \cdot m_v^2}{(1 + \gamma) \cdot m_l}, \quad (1)$$

де $(1 + \gamma)$ – коефіцієнт інерції частин електрорухомого складу, що обертаються.

При графічній побудові кривої $t(l)$ з використанням кривої $V(l)$ до прийнятих раніше масштабів m_v та m_l підбирають прийнятний масштаб часу m_t , мм/с, та визначають величину допоміжного відрізка (полюсної відстані) Δ за формулою

$$\Delta = \frac{3,6 \cdot m_t \cdot m_v}{m_l}, \text{ мм} \quad (2)$$

Практично задовольняючи масштаби для поїздів метрополітену, трамваїв та тролейбусів при $(1+\gamma) = 1,1$ наведені в табл. 1. За других значень $(1+\gamma)$ їх можна перерахувати за формулами (1) і (2), однак похибка розрахунків, масштабів та подальших розрахунків, що вноситься при відхиленні значення γ на 10-20% від зазначених у таблиці, незначна.

Таблиця 1 – Рекомендовані значення масштабів для поїздів метрополітену, трамваю і тролейбусу

Масштаби	Значення масштабів					
	Для метрополітену, $1+\gamma=1,1$		Для трамваю та тролейбусу, $1+\gamma=1,1$			
	1	2	1	2	3	4
$m_v, \text{мм}/(\text{км}/\text{год})$	2	2	2	2	2,5	2,5
$m_l, \text{мм}/\text{м}$	0,23	0,154	0,23	0,5	0,36	0,5
$m_f, \text{мм}/(\text{Н}/\text{кН})$	2	3	2	0,92	2	1,44
$m_t, \text{мм}/\text{с}$	1	1	2	2	2	2
$\Delta, \text{мм}$	31,3	46,8	62,6	28,8	50	36

Значення коефіцієнта інерції обертових частин потягу наведені в табл. 2. Менші значення коефіцієнта інерції відповідають рухомому складу з пасажирським навантаженням, а великі - без навантаження.

Таблиця 2 - Значення коефіцієнта інерції для різних типів електрорухомого складу

Тип електрорухомого складу	Коефіцієнт $(1+\gamma)$
Трамвайні вагони	1,1....1,15
Тролейбуси	1,15....1,18
Вагони метрополітену	1,12....1,14

2.2. Випрямлення профілю заданої ділянки шляху

Для скорочення кількості окремих елементів профілю і спрощення тягових розрахунків поздовжній профіль піддають обробці (випрямленню), що

складається з двох операцій: випрямлення профілю і випрямлення кривих. Отриманий у результаті цих операцій профіль, що має меншу кількість елементів і переломів порівняно з дійсним профілем колії, називають випрямленим (приведеним).

Випрямлення профілю колії виконують у такій послідовності:

1. З докладного профілю колії вибирають і групують суміжні елементи (рис. 1), що підлягають випрямленню. У випрямлену групу включають розташовані близько елементи профілю колії, що мають незначну різницю уклонів одного знака. Горизонтальні елементи відносять або до спусків, або до підйомів, як зручніше для розрахунку.
2. Визначають уклони i'_c , ‰ кожної випрямленої ділянки за формулою

$$i'_c = \frac{\sum_{j=1}^m i_j l_j}{\sum_{j=1}^m l_j}, \quad (4)$$

де i_j і l_j – відповідно уклони і довжини елементів профілю, включені до випрямленої ділянки з m елементів.

3. Перевіряють виконання умови випрямлення для кожного дійсного елемента профілю випрямленої ділянки за виразом

$$l_j \leq \frac{2000}{|i_j - i'_c|}. \quad (5)$$

Якщо при перевірці довжина елемента кривої не задовольняє умові випрямлення (5), її в одну групу з іншими не поєднують.

4. Криві, що зустрічаються на випрямлених ділянках, замінюють фіктивними підйомами з уклонами i''_c , ‰ за виразом

$$i''_c = \frac{450}{l_c} \sum_{i=1}^n \frac{l_{kp.i}}{R_{kp.i}}, \quad (6)$$

де $l_c = \sum_{j=1}^m l_j$ – довжина випрямленої ділянки, м, що складається з m елементів профілю;

$l_{kp.i}$ і $R_{kp.i}$ – відповідно довжина і радіус i -ї кривої, м;

n - кількість кривих на спрямленій ділянці.

5. Визначають уклони $i_c, ‰$ випрямлених ділянок з урахуванням кривих:

при рухові вбік підйому $i_c = i_c' + i_c''$,

при рухові вбік спуску $i_c = -i_c' + i_c''$.

Надалі під i розуміють цілком випрямлений уклон, якщо немає відповідних застережень у тексті.

6. Випрямлений профіль наносять на міліметровий папір в обраному масштабі шляху m_l з вказівкою напрямку руху і позначенням уклонів і довжин елементів і випрямлених ділянок (рис. 1)

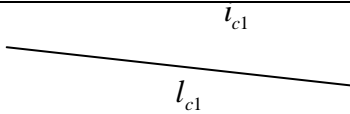
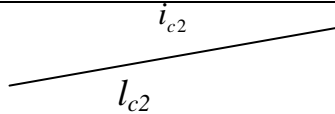
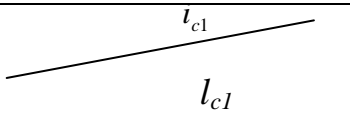
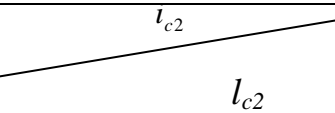
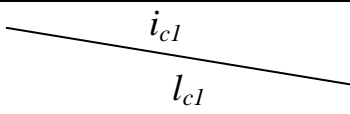
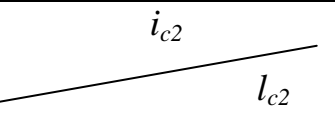
№ елемента	1	2	3	4	5	6
$\frac{i, ‰}{l, м}$	$\frac{i_1=0}{l_1}$	$\frac{i_2}{l_2}$	$\frac{i_3}{l_3}$	$\frac{i_4}{l_4}$	$\frac{i_5=0}{l_5}$	$\frac{i_6}{l_6}$
$\frac{R_{кр}, м}{l_{кр}, м}$	$\frac{R_{кр.1}}{l_{кр.1}}$	$\frac{R_{кр.2}}{l_{кр.2}}$	—	$\frac{R_{кр.3}}{l_{кр.3}}$	$\frac{R_{кр.4}}{l_{кр.4}}$	—
№ спрямленої ділянки	1			2		
$\frac{i_c', ‰}{l_c, м}$						
$\frac{i_c'', ‰}{l_c, м}$						
$\frac{i_c, ‰}{l_c, м}$						

Рис.1 – Приклад випрямлення профілю ділянки шляху при рухові зліва направо

2.3. Розрахунок і побудова кривих питомого основного опору руху

Основний питомий опір руху w_0 включає:

- внутрішнє тертя в електрорухомому складі;
- опір від взаємодії електрорухомого складу і шляху на прямій та горизонтальній ділянках;

в) опір від взаємодії електрорухомого складу та повітря.

Для електричної тяги прийнято розрізняти поняття та величини опору руху під струмом та без струму. Це пов'язано із тим, що при русі під струмом сили опору, які визвані механічними втратами в тягових двигунах, моторно-осьових підшипниках та зубчатій передачі, не включають в основний опір руху, оскільки опір враховують при розрахунку тягових та гальмівних характеристик. У режимі вибігу ці сили додають до основного опору руху і позначають w_{ox} .

Для побудови кривих питомого основного опору руху потягу під час їзди під струмом $w_o(v)$ і без струму $w_{ox}(v)$ необхідно користуватися емпіричними виразами, наведеними в табл. 3.

Таблиця 3 - Розрахункові вирази для питомого основного опору руху електрорухомого складу

Тип рухого складу	Рух під струмом, Н/кН	Рух без струму, Н/кН
Трамвайні вагони серії КТМ	$w_o = 5 + 0,005v^2$	$w_{ox} = 9 + 0,005v^2$
Трамвайні вагони серії ЛМ	$w_o = 4,5 + 0,0028v^2$	$w_{ox} = 5,0 + 0,0031v^2$
Тролейбуси	$w_o = 12 + 0,004v^2$	$w_{ox} = 16 + 0,004v^2$
Вагони метрополітену	$w_o = 1,1 + (0,09 + 0,022n_e) \cdot \frac{v^2}{m}$	$w_{ox} = 1,0 + \frac{52n_e}{m} + 0,025v + (0,09 + 0,022n_e) \cdot \frac{v^2}{m}$

Примітка: m -загальна вага потягу, т; n_e - кількість вагонів у поїзді; v - швидкість потягу, км/год.

Розрахунок кривих $w_o(v)$ і $w_{ox}(v)$ слід вести за допомогою табл. 4.

Таблиця 4-Розрахункові дані для побудови кривих $w_o(v)$ і $w_{ox}(v)$

$V, \text{ км/год}$	0	10	20	30	v_{\max}
$w_o, \text{ Н/кН}$								
$w_{ox}, \text{ Н/кН}$								

За даними табл. 4 будують в обраних масштабах m_v , мм/(км/год), і m_f , мм/(Н/кН), криві $w_o(v)$ і $w_{ox}(v)$ (рис. 2).

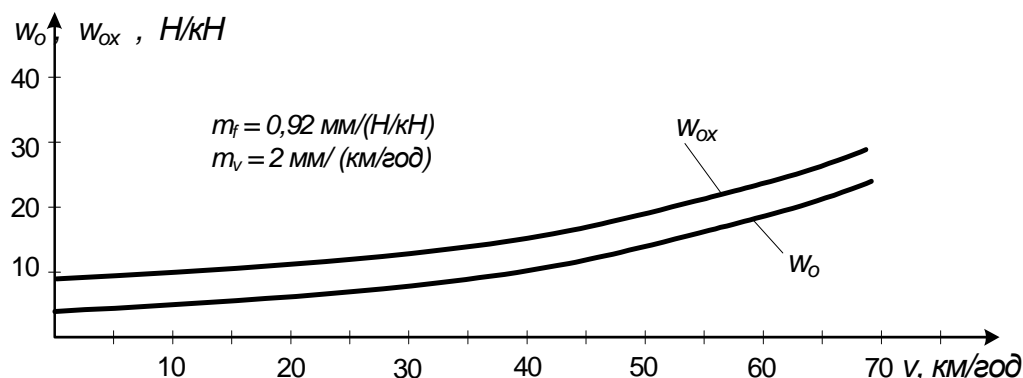


Рис. 2 – Криві питомого основного опору руху трамвайного моторного вагона типу КТМ

2.4. Побудова тягової характеристики потягу

Тягову характеристику потягу $F(v)$ будують на підставі електромеханічних характеристик двигуна на ободі колеса $F(I)$ і $v(I)$ при повному й ослабленому полі (рис. 3). Швидкість переноситься без змін, а сила тяги потягу визначається за виразом

$$F = F_k Z_M, \quad (7)$$

де F_k - сила тяги на ободу коліс для одного двигуна, Н;

Z_M - кількість обмотованих осей (число двигунів) у потягу.

Як правило, в умовах експлуатації використовують характеристики з максимальним ослабленням поля. Тому тягову характеристику слід будувати за верхньою швидкісною характеристикою і за нижньою характеристикою сили тяги. Тягову характеристику потягу будують, починаючи з моменту вирушення потягу ($v = 0$), до швидкості $v = v_{max}$ за швидкісною характеристикою $v(I)$, яка відповідає максимальному ослабленню поля (точка Д на кривій $v_{ол}(I)$ рис.3).

Для побудови частини тягової характеристики потягу при русі на реостатних позиціях (період пуску) треба знайти значення середньої пускової сили тяги потягу F_{II} , що підтримується постійним до швидкості v_n виходу на автоматичну характеристику $v_{III}(I)$ при повному полі (точка В, рис. 3). На позиціях ослабленого поля, як звичайно, підтримується приблизно такий же середній струм I_{II} , як і під час пуску з включеними пусковими реостатами, а сила тяги при цьому зменшується (точка С', на рис. 3).

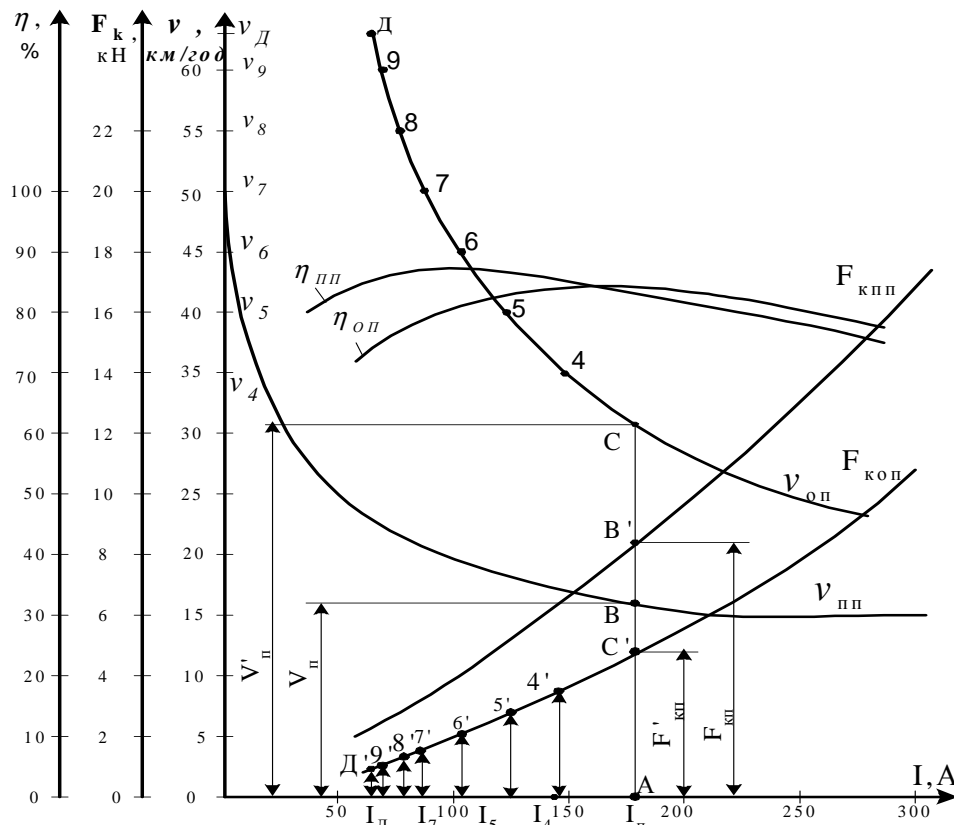


Рис.3- Електромеханічні характеристики на ободі колеса двигуна ДК-259Г при $U = 275В$, $D_{BK} = 700$ мм, $\mu = 7,17$ з нанесенням режиму пуску

Середню пускову силу тяги потягу F_{II} , Н, на реостатних позиціях розраховують за формулою

$$F_{II} = G \left[\frac{10^3 \cdot (1 + \gamma)}{9,81} a_n + w_{o.cp} \right] = G [102(1 + \gamma) a_n + w_{o.cp}], \quad (8)$$

де G - вага потягу, кН;

a_n - середнє пускове прискорення, $м/с^2$;

$w_{o,cp}$ - середнє значення питомого основного опору руху за період пуску, що визначається за формулами, наведеними в табл. 3; при цьому середнє значення швидкості за період пуску можна прийняти рівним

$$v_{cp} = 0,7 v_n \approx 15 \text{ км/ч.}$$

Середнє пускове прискорення a_n звичайно задається. Якщо a_n не задано, то його необхідно визначити з рівняння (8) руху на реостатних позиціях за заданою чи обчисленою пусковою силою тяги потягу F_{Π} .

Пускова сила тяги F_{Π} , обчислена за заданим пусковим прискоренням a_n , повинна бути перевірена за умовами зчеплення і за припустимим максимальним струмом двигуна I_{max} . Максимальна пускова сила тяги $F_{\Pi max}$ не повинна перевищувати максимальну силу зчеплення

$$F_{\Pi, max} = F_{\Pi} (1 + K_F) \leq 10^3 G_{cy} \Psi. \quad (9)$$

Тут K_F - коефіцієнт нерівномірності пуску за силою тяги; для автоматичної багатосхідчастої системи пуску можна прийняти $K_F = 0,1$; у випадку плавного (імпульсного) пуску $K_F = 0$;

G_{cy} - зчіпна вага потягу, дорівнює сумі сил натискання на рейки (дорогу) усіх рушійних осей (колес) потягу, кН;

Ψ - розрахунковий коефіцієнт зчеплення, значення якого приведені в табл.5.

Таблиця 5 - Значення розрахункового коефіцієнта зчеплення

Тип електрорухомого складу	Ψ
Трамвай із загальною полотниною	0,16
Швидкісний трамвай з індивідуальною полотниною	0,18
Тролейбус	0,35
Метрополітен	0,20

Якщо $F_{\Pi, max} > 10^3 G_{cy} \Psi$, то її варто прийняти рівною або меншою максимальної сили зчеплення, визначити $F_{\Pi} = F_{\Pi, max} / (1 + K_F)$ і за рівнянням (8) знайти значення середнього пускового прискорення a_n .

Для перевірки пускової сили тяги за максимальним струмом необхідно визначити максимальну пускову силу тяги $F_{кп, max} = F_{\Pi, max} / Z_M$ одного двигуна і за електромеханічною характеристикою двигуна $F_{кпп}(I)$, що відповідає повному полю, знайти значення струму $I_{\Pi max}$, яке повинне бути меншим подвоєного значення годинного струму двигуна: $I_{\Pi max} < 2I_u$. Якщо $I_{\Pi max} > 2I_u$, то треба прий-

яти нове значення $I_{п\max} < 2I_q$ і в зворотному порядку визначити пускову силу тяги $F_{п}$ і прискорення a_n .

Рекомендується наступний порядок розрахунку і побудови тягової характеристики потягу. Визначають середню пускову силу тяги двигуна

$F_{кп} = F_{п} / Z_{м}$ і за характеристикою сили тяги для повного поля $F_{кпп}(I)$ (рис. 3) знаходять середнє значення пускового струму $I_{п}$ (точка А на рис. 3). Струм $I_{п}$, а отже, і сила тяги двигуна $F_{кп}$ підтримуються постійними від швидкості $v = 0$ до швидкості $v = v_{п}$ виходу на автоматичну характеристику повного поля $v_{пп}(I)$ (точка В). При подальшому розгоні двигуна за рахунок ослаблення поля до швидкості $v = v_{п}^{\cdot}$ виходу на автоматичну характеристику $v_{оп}(I)$, що відповідає максимальному ослабленню поля (точка С), струм двигуна приймають рівним пусковому струму ($I = I_{п}$), а сила тяги двигуна зменшується за лінійним законом до значення $F_{кп}^{\cdot}$, що відповідає точці С' на кривій $F_{кпп}(I)$. Далі в діапазоні зміни швидкості від $v_{п}^{\cdot}$ до v_{max} (точка Д) через 3-5 км/год задаються рядом значень швидкості v_4, v_5, \dots, v_d . Для цих значень швидкості за кривою $v_{оп}(I)$ (точки 4, 5, ..., Д) знаходять відповідні значення струму навантаження двигуна I_4, I_5, \dots, I_d , яким на кривій $F_{кпп}(I)$ (точки 4', 5', ..., Д') відповідають значення сили тяги двигуна $F_{к4}, F_{к5}, \dots, F_{кд}$. Потім розраховують абсолютні й питомі значення сили тяги потягу за формулами $F = F_k Z_m$ і $f = F / G$.

Результати розрахунків подають у вигляді табл. 6 і за даними цієї таблиці будують за точками питому тягову характеристику потягу $f(v)$ (рис. 4).

Таблиця 6 - Дані для побудови питомої тягової характеристики потягу $f(v)$ і характеристики прискорюючої сили $f_o(v)$.

№ n/n	v, км/год	I, A	F_k, H	F, H	f, H/кH	$w_o, H/кH$	$f_o, H/кH$
1	2	3	4	5	6	7	8
1(A)							
2(B)							
3(C)							
4							
5							
....							
Д							

2.5. Побудова характеристики питомої прискорюючої сили

При побудові кривих руху використовують характеристику питомої прискорюючої сили $f_o(v)$. Величина цієї сили дорівнює різниці питомої сили тяги потягу f і питомого основного опору рухів потягу w_o , яка визначає рух потяга в режимі тяги на прямій і горизонтальній ділянці шляху,

$$f_o = f - w_o. \quad (10)$$

Значення сили w_o для швидкостей, які використовуються при побудові тягової характеристики $f(v)$ і наведених у графі 1 табл. 6, знаходять за кривою $w_o(v)$ (рис. 2) і заносять у графу 6 табл. 6. У графу 7 цієї таблиці заносять значення прискорюючої сили f_o . Потім за даними граф 1 і 7, відкладаючи на осі абсцис значення швидкості, а на осі ординат відповідні значення питомої прискорюючої сили, знаходять точки А', В', С', 4', . . . , Е кривої питомої прискорюючої сили f_o (рис. 4). З'єднавши ці точки, одержують криву залежності $f_o(v)$. Зазначені точки кривої $f_o(V)$ можна також одержати шляхом віднімання при одній і тій же швидкості ординат кривої $w_o(v)$ (рис. 2) із ординат кривої $f(v)$ (рис. 4). Точка Е кривої $f_o(v)$ відповідає $f_o=0$ і $v = v_y$. Стала швидкість v_y є найбільшою (максимальною) швидкістю, яку може розвинути потяг у режимі тяги на прямій і горизонтальній ділянці шляху.

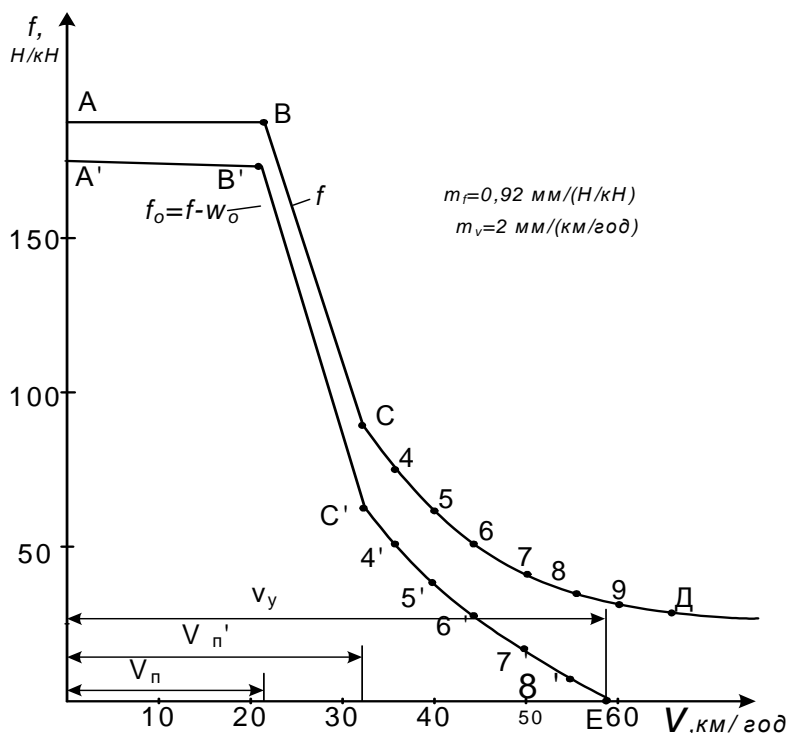


Рис. 4 – Характеристики питомої сили тяги та прискорюючої сили моторного трамвайного вагона типу КТМ з двигунами ДК – 259ГЗ

2.6. Побудова характеристики питомої сповільнюючої сили при реостатному гальмуванні

При побудові кривих гальмування потягу використовують характеристику питомої сповільнюючої сили $b_o(v)$. Величина цієї сили дорівнює сумі питомої гальмової сили потягу b і питомого основного опору руху потяга w_o при режимі тяги, якщо застосовується електричне гальмування:

$$b_o = b + w_o. \quad (11)$$

Питому гальмову силу потяга можна прийняти постійною і розрахувати за виразом

$$b = 0,8 f_n, \quad (12)$$

де f_n - питома пускова сила тяги потяга (табл. 6).

Розрахунок кривої $b_o(v)$ слід вести за допомогою табл. 7. За даними табл. 7 будують в обраних масштабах m_f і m_v криву сповільнюючої сили $b_o(v)$ (рис. 5).

Таблиця 7 - Дані для побудови характеристики $b_o(v)$

$V, \text{км/год}$	0	10	20	30	40	50	60
$b, \text{Н/кН}$							
$w_o, \text{Н/кН}$							
$b_o, \text{Н/кН}$							

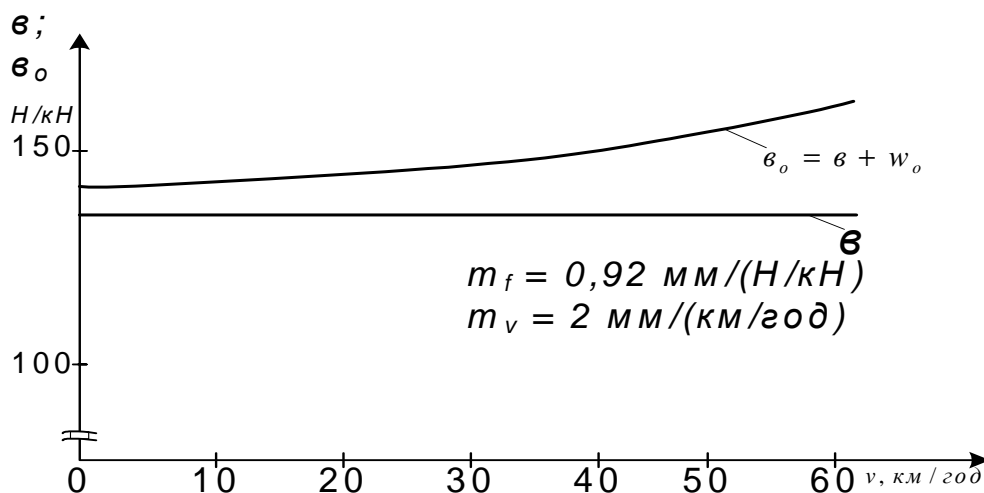


Рис. 5 – Характеристики питомої гальмової сили і сповільнюючої сили моторного трамвайного вагона типу КТМ з двигунами ДК – 259 ГЗ

2.7. Розрахунок і побудова характеристики питомої сповільнюючої сили при екстреному гальмуванні

При визначенні допустимих швидкостей руху потягу використовують характеристику питомої сповільнюючої сили на прямій і горизонтальній ділянці шляху при екстреному гальмуванні. Величина цієї сили дорівнює сумі питомої гальмової сили потягу $b_{\text{эк}}$ при екстреному гальмуванні і питомого основного опору руху потягу $w_{\text{ох}}$ при вибігу (їзді без струму):

$$b_{\text{оэк}} = b_{\text{эк}} + w_{\text{ох}}. \quad (13)$$

Для екстреного гальмування тролейбуса використовують механічні барабанні гальма з максимальним натисканням колодок. У цьому випадку характеристику питомої гальмівної сили розраховують за формулою

$$b_{\text{эк}} = 10^3 \varphi_k \Theta_{\text{max}}. \quad (14)$$

Тут φ_k - розрахунковий коефіцієнт тертя; для барабанних гальм можна прийняти $\varphi_k = 0,35$;

Θ_{max} - максимальний гальмовий коефіцієнт потяга; для тролейбуса можна прийняти $\Theta_{\text{max}} = 2$.

Тоді питома гальмова сила $b_{\text{эк}} = 1000 \cdot 0,35 \cdot 2 = 700 \text{ Н/кН}$.

Як екстрене гальмування на трамвайних вагонах застосовується рейкове електромагнітне гальмування. Питому гальмову силу рейкового електромагнітного гальма визначають за виразом

$$b_{\text{эк}} = 10^3 \varphi_k \Sigma K_p / G, \quad (15)$$

де ΣK_p - сумарне натискання гальмових башмаків, кН;

G - вага потягу, кН.

У розрахунках можна прийняти $\Sigma K_p / G = 2$, а значення розрахункового коефіцієнта тертя φ_k знайти з виразу

$$\varphi_k = 0,18 / (1 + 0,02v). \quad (16)$$

При розрахунку φ_k за виразом (16) треба підставляти значення швидкості v у км/год.

Розрахунки сповільнюючої сили $b_{\text{оэк}}$ зручно подавати у вигляді табл. 8, за даними якої в обраних масштабах m_f і m_v будують характеристику $b_{\text{оэк}}(v)$ (рис.6).

При $1+\gamma = 1,1$ зручно вибрати:

для тролейбуса $m_v = 1 \text{ мм/(км/год)}$, $m_l = 1 \text{ мм/м}$, тоді

$$m_f = 0,1155 \text{ мм/(Н/кН)};$$

для трамваю $m_v = 2 \text{ мм/(кМ/год)}$, $m_l = 2 \text{ мм/м}$, тоді

$$m_f = 0,231 \text{ мм/(Н/кН)}.$$

Таблиця 8 - Дані для побудови характеристики (v)

$v, \text{кМ/год}$	0	10	20	30	40	50	60
φ_k							
$b_{эк}, \text{Н/кН}$							
$w_{ох}, \text{Н/кН}$							
$b_{оэк}, \text{Н/кН}$							

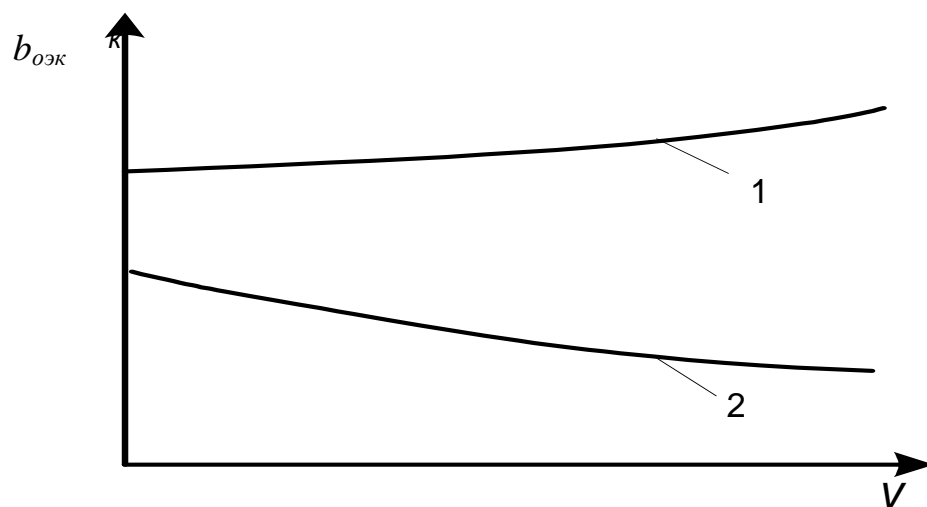


Рис. 6 – Приблизний вигляд характеристик питомої сповільнюючої сили тролейбуса (1) і трамваю (2) при екстреному гальмуванні

2.8. Розрахунок допустимої швидкості руху

При розв'язанні цієї задачі варто виходити з випадку екстреного гальмування, при якому використовуються, як правило, механічні гальма з максимальним натисканням колодок. Гальмові характеристики для екстреного гальмування тролейбуса і трамвая розраховані в п. 2.7. При розрахунку задаються визначеним розрахунковим гальмовим шляхом l_{TP} і часом підготовки гальм t_n , значення яких наведені в табл. 9.

Таблиця 9 – Значення l_{TP} і t_n для тролейбуса і трамвая

Тип рухомого складу	Розрахунковий гальмовий шлях l_{TP} , м	Час підготовки t_n , с
Тролейбус	20 - 30	1
Трамвай	35 - 40	1

Допустиму швидкість руху визначають графічним методом. Спочатку вибирають масштаби m_v , m_l і m_f , що задовольняють рівності (1). Значення масштабів, що рекомендуються за умови $1 + \gamma = 1,1$, наведені в п.2.7.

Хід розв'язання задачі пояснений за допомогою рис. 7. В обраних масштабах будують характеристику питомої сповільнюючої сили $b_{ок}(v)$. На діаграмі $v(l)$ на осі абсцис в обраному масштабі шляху відкладають розрахунковий гальмовий шлях l_{TP} і з кінця його o' у зворотному порядку (від $v=0$) графічним методом будують криві гальмування $v(l)$ для трьох значень ухилів: $i = +i_{max}$, $i = 0$, $i = -i_{max}$. Інтервали швидкості Δv , якими задаються при побудові, повинні бути не більше 5 км/год. Отримані криві $v(l)$ побудовані праворуч на рис. 7. Як видно з рис. 7, у випадку горизонтальної ділянки початок координат на діаграмі сповільнюючих сил знаходиться в точці O ; у випадку підйому $+i_{max}$ початок координат переноситься на відрізок $m_f i_{max}$ униз по осі ординат, а у випадку спуску $-i_{max}$ початок координат переноситься на відрізок $m_f \cdot i_{max}$ нагору по осі ординат. Слід пам'ятати, що величина підйому або спуску в ‰ чисельно дорівнює питомій сповільнюючої силі в Н/кН ($i = w_i$). Для розрахунку підготовчого шляху l_n досить для будь-якої швидкості v відкласти від осі ординат в обраному масштабі шляху відрізок, що відповідає $l_n = (v t_n)/3,6$, м і з'єднати його прямою лінією з точкою O . Ординати a , b , c точок перетину цієї прямої з кривими $v(l)$ для різних ухилів визначають найбільші швидкості v_{T1} , v_{T2} , v_{T3} , допустимі на відповідних ділянках шляху.

За отриманими трьома точками на діаграмі діючих сил при побудові кривих руху (рис. 9) наносять криву $v_{max.T}(i)$, ордината точки a перетину якої з кривою $w_{ок}(v)$ визначає границю шкідливих і нешкідливих спусків для даного типу рухомого складу.

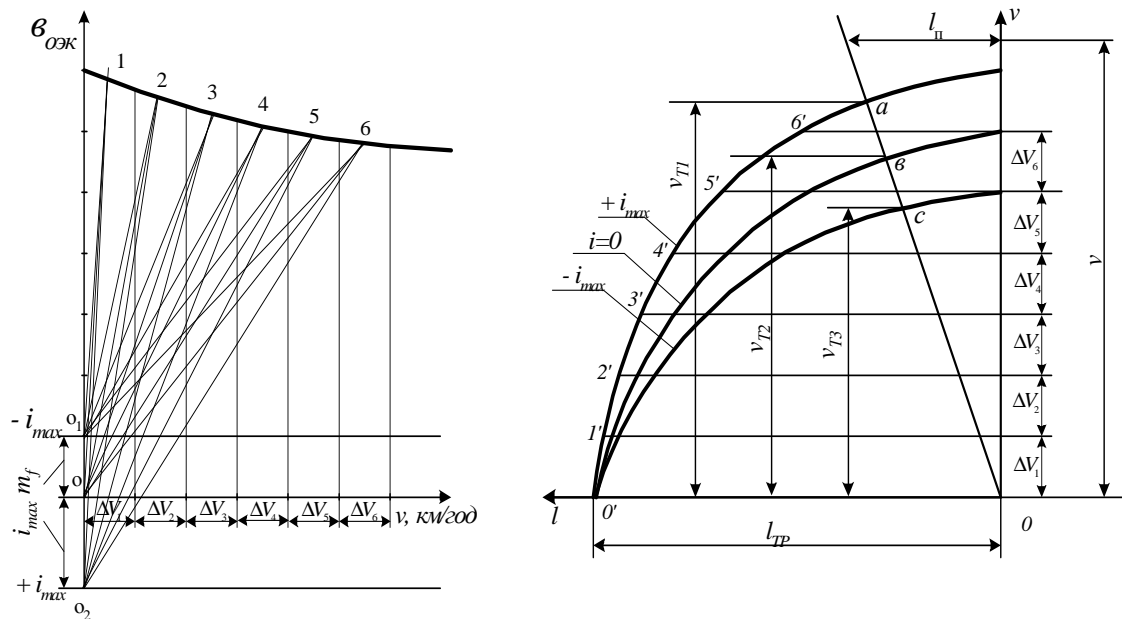


Рис.7 – До визначення припустимої швидкості руху

2.9. Побудова кривої спожитого потягом струму

Побудову кривої спожитого потягом струму $I_L(v)$ виконують на підставі електромеханічних характеристик двигуна на ободі колеса з урахуванням нанесеного режиму пуску (рис. 3). Спожитий потягом струм

$$I_L = I n_{\pi}, \quad (17)$$

де I - струм, спожитий двигуном, А;

n_{π} - кількість паралельних гілок схеми з'єднання тягових двигунів потяга.

Значення струму двигуна для відповідних значень швидкості руху слід брати з табл. 6. Розрахунки струму I_L за формулою (17) зручно вести за допомогою табл. 10.

Таблица 10 - Дані для побудови кривої $I_L(v)$

№ п/п	$v, \text{ км / год}$	$I, \text{ А}$	$I_{\pi}, \text{ А}$
1 (А)			
2 (В)			
3 (С)			
4			
5			
:			
Д			

За даними табл. 10 будують в обраних масштабах струму і швидкості залежність $I_n(v)$ (рис. 8).

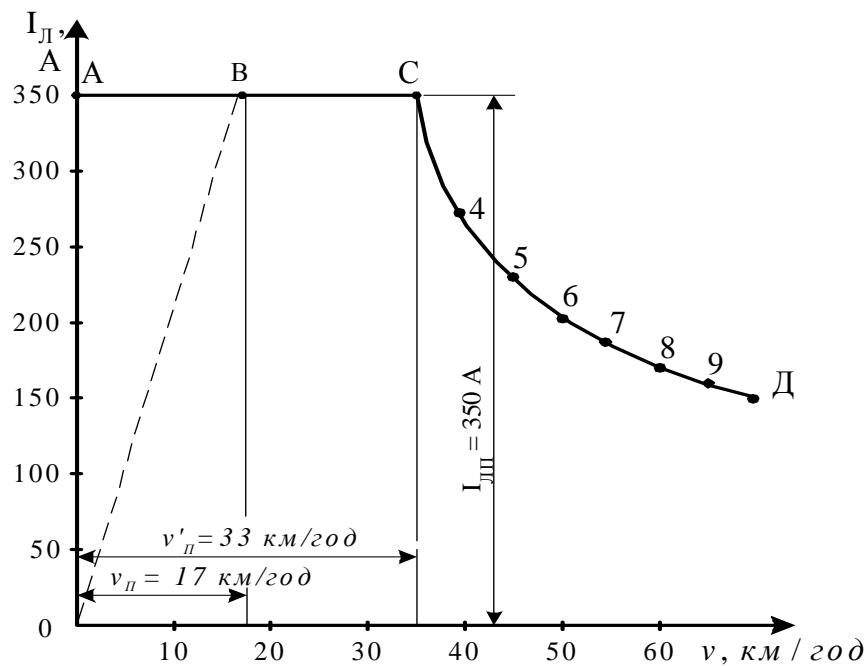


Рис.8. - Крива споживання струму моторним трамвайним вагоном типу КТМ з двигунами ДК-259Г

При установці на потязі системи плавного пуску (наприклад, імпульсного перетворювача) крива спожитого потягом струму на період пуску може бути знайдена за виразом

$$I_n = \frac{F_n \cdot v}{3,6 \cdot U_{kc} \cdot \eta_{np} \cdot \eta}, \text{ A}, \quad (18)$$

де F_n - пускова сила тяги потягу, Н;

U_{kc} - середня напруга контактної мережі, В;

η_{np} - ККД перетворювача, що приймають рівним 0,95;

η - ККД двигуна на ободі колеса при повному полі для значення струму

$$I = I_n.$$

У тій частині тягової характеристики, де пуск закінчений, криву спожитого потягом струму будують на підставі електромеханічних характеристик.

На рис. 8 ділянка кривої $I_n(v)$, що відповідає плавному імпульсному пуску, показана штриховою лінією ОВ.

2.10. Побудова кривих руху

Криві руху $v(l)$, $t(l)$ будують для обох напрямків руху: у прямому напрямку - графічним способом за реальним спрямленим профілем, у зворотному напрямку - графоаналітичним способом за середнім спрямленим профілем. Починати розрахунки слід з побудови кривих графічним способом.

Криву руху $v(l)$ будують в наступному порядку. Вибирають масштаби m_v , m_l , m_f , що задовольняють рівності (1). Значення масштабів, що рекомендуються, за умови, що $1 + \gamma = 1,1$, приведені в табл. 1. При інших значеннях масштаби необхідно перерахувати за рівнянням (1).

В обраних масштабах креслять криві питомих прискорюючих і сповільнюючих сил $f_o(v)$, $w_{ox}(v)$, $b_o(v)$ для прямого і горизонтального шляху, причому вісь швидкості v зручно розташувати горизонтально, як показано на рис. 9. Зазначені характеристики розраховані відповідно в п.п. 2.5, 2.3 і 2.6. На діаграму діючих сил наносять знайдену з п. 2.8 залежність максимальної припустимої швидкості руху від величини уклону профілю $v_{max.T}(v)$ і знайдену з п. 2.9 залежність спожитого потягом струму від швидкості $I_d(v)$. Праворуч від діаграми діючих сил будують криву, як це показано на рис. 9. На осі l відзначають точки перелому профілю і вказують довжини й уклони спрямлених його ділянок (див. п. 2.2).

Побудову кривої $v(l)$ починають з моменту зрушення потяга ($v=0$) на початку першого елемента профілю з ухилом i_l . На діаграмі прискорюючої сили $f_o(v)$ накреслюють інтервали швидкості Δv_1 , Δv_2 , ... , причому там, де сила змінюється незначно, інтервал швидкості слід приймати не більшим за 5 км/год, а там, де сила змінюється значно, інтервал швидкості повинен бути не більшим за 3 км/год. На ділянці характеристики поблизу сталого значення швидкості v_y варто брати $\Delta v = 0,5 \dots 1,0$ км/год. Необхідно також, щоб точки різкого перелому кривої $f_o(v)$ попадали на межі, а не на усередину обраних інтервалів швидкості Δv .

Для розрахунку профілю кривої треба переносити початок координат на діаграмі діючих сил, причому у випадку підйому ($+ i, \text{‰}$) початок координат переноситься на відрізок $i \cdot m_f$ убік позитивних значень сил f (точка O_1 на рис. 9), а у випадку спуску ($- i, \text{‰}$) початок координат переноситься на відрізок $i \cdot m_f$ убік позитивних значень сил b_o і w_{ox} (точка O_2 на рис. 9). Подібний перенос необхідно робити кожного разу, коли змінюється профіль колії.

На кривій $f_o(v)$ відзначають точки 1, 2, ... з абсцисами, рівними середнім швидкостям v_{cp1}, v_{cp2}, \dots в інтервалах $\Delta v_1, \Delta v_2, \dots$. Тоді ординати цих точок, виміряні від прямої $O_1 - O_1'$, проведеної на відстані $i \cdot m_f$, мм, від осі абсцис (швидкостей), визначають рівнодіючі сили $f_{ocp1} = f_{ocp1} - w_{i1}, f_{ocp2} = f_{ocp2} - w_{i1}, \dots$ режиму тяги, що є прискорюючими силами на першому елементі профілю. Точку O_1 з'єднують променями з точками 1, 2, Вісь v системи координат v, l поділяють на ті ж інтервали швидкості $\Delta v_1, \Delta v_2, \dots$. Із точки O' початку побудови кривої $v(l)$ проводять промінь $O' - 1'$ паралельно променю $O_1 - 1$ до перетину з горизонтальною прямою, що обмежує інтервал швидкості Δv_1 . Проекція $O' - 1'$ відрізка на вісь l дає збільшення шляху Δl_1 у масштабі m_l . Другу точку $2'$ кривої $v(l)$ одержують на перетині прямої $1' - 2'$, проведеної паралельно променю $O_1 - 2$ у межах інтервала швидкості Δv_2 . Одержують друге збільшення шляху Δl_2 , що автоматично додається до Δl_1 . Подібним чином (у межах довжини l_1 першого елемента профілю) одержують наступні точки $3', 4', \dots$ кривої $v(l)$. Як звичайно, цю криву виконують не плавною лінією, а у вигляді складових її відрізків (хорд). При вході на наступний елемент профілю колії треба перенести початок координат на діаграмі діючих сил і аналогічно попередньому продовжити побудову кривої $v(l)$. Крива руху $v(l)$ для прямого напрямку побудована на рис. 9 жирною лінією.

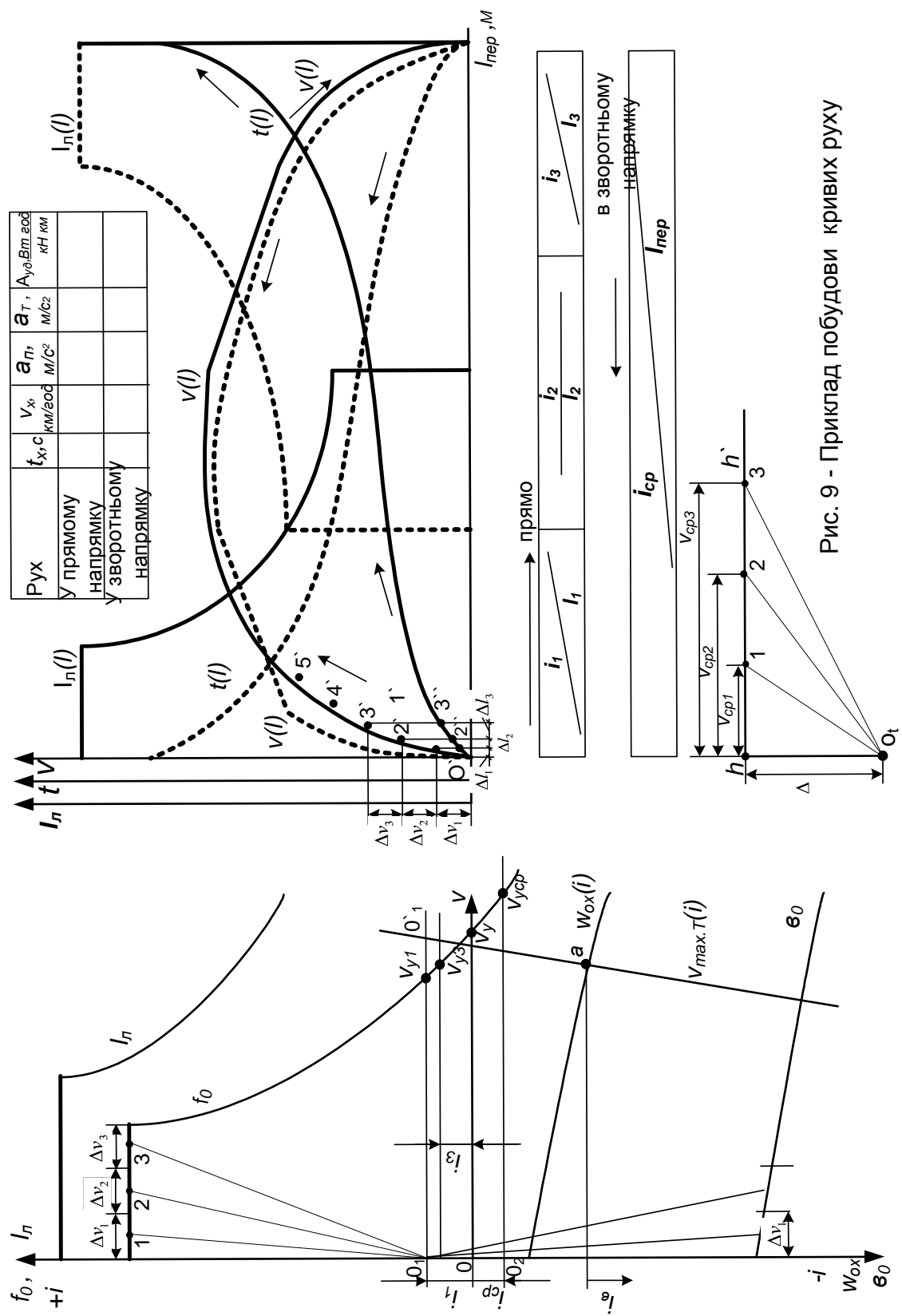


Рис. 9 - Приклад побудови кривих руху

При побудові кривої руху треба керуватися наступними положеннями. Якщо досягнута потягом швидкість v менше сталої v_y на новому елементі профілю, то необхідно задаватися позитивним збільшенням швидкості Δv і, отже, швидкість руху на новому елементі профілю буде збільшуватися. Якщо ж навпаки, досягнута швидкість більше сталої, то необхідно задаватися негативним збільшенням швидкості, і, отже, на новому елементі профілю швидкість руху буде зменшуватися. Значення сталої швидкості v_y визначається точкою перетину прямої, проведеної з початку координат паралельно осі абсцис, із кривою діючої (прискорюючої f_0 , або сповільнюючої b_0 або w_{ox}) сили. Після досягнення сталої швидкості потяг далі буде рухатися рівномірно до наступної ділянки перелому профілю, тому крива руху $v(l)$ на цій ділянці шляху буде зображена у вигляді горизонтального відрізка.

Якщо при побудові кривої $v(l)$ остання точка, знайдена для будь-якого елемента профілю, потрапила за його межі на наступний елемент з іншим уклоном, то треба задатися меншим інтервалом швидкості Δv , щоб при повторній побудові точка збігалася з переломом профілю або була близька до нього.

Основний критерій при побудові кривої руху полягає у прагненні рухатися по заданому перегону з максимально можливою швидкістю. При досягненні допустимої швидкості, або при підході до крутого спуска, чи, нарешті, при підході до кінця перегону необхідно переходити на вибіг.

При рухові по крутому (шкідливому) спуску, де його швидкість, незважаючи на перехід на вибіг, продовжує збільшуватися, необхідно при досягненні допустимої швидкості переходити на підгальмування, для чого слід використовувати електричне гальмо.

Якщо при русі на вибігу відбулося значне зниження швидкості, то треба здійснити повторний режим тяги, але загальна кількість повторних включень на одному перегоні має бути мінімальною.

Якщо при повторному включенні швидкість руху більше швидкості пуску ($v > v_n$), то на кривих руху швидкість для цього моменту треба брати відповідно

до автоматичної характеристики ослабленого поля, якщо – менше, то необхідний пуск зі швидкості повторного включення при струмі $I = I_{\pi}$.

На будь-якому елементі шляху з уклоном i швидкість руху потягу при зростанні не може перевищити стале значення v_y , а при її спаданні – стати менше v_y . У наслідок цього крайньою межею останнього інтервалу Δv може стати тільки значення v_y .

Побудову ділянок кривої руху на вибігу і при гальмуванні до зупинки виконують аналогічно режиму тяги, але замість кривої прискорюючої сили $f_o(v)$ використовують відповідно криві $w_{ox}(v)$ та $b_o(v)$. При екстремому гальмуванні слід використовувати характеристику $b_{oэк}(v)$ (пункт 2.7).

Побудову кривої руху на вибігу починають з максимально можливої для даного потягу швидкості (сталої швидкості для періоду тяги). Якщо при вибігу $w_{ox} > w_y$, швидкість руху буде знижуватися, тому Δv беруть негативними (при побудові кривої в зворотному порядку – позитивними); якщо ж $w_{ox} < w_y$ (при рухові на спуску), то швидкість зростатиме й у цьому випадку варто брати Δv позитивними (при побудові кривої в зворотному порядку – негативними).

Вибіг повинен складати не менше 10 . . . 15% від часу руху по перегону t_x (орієнтовно 10 . . . 15% від довжини перегону $l_{пер}$).

При побудові кривої вибігу інтервали Δv зміни швидкості не повинні бути надто великі, тому що швидкість при вибігу змінюється порівняно повільно.

Криву гальмування до зупинки доцільно будувати з кінця перегону в зворотному порядку (від $v = 0$) до перетину з кривою вибігу. Якщо швидкість початку гальмування v_m задана (обрана), то криву гальмування будують до цього значення швидкості, а далі в тому ж зворотному порядку будують криву вибігу до перетину з кривою руху періоду тяги, після чого виходить повна крива руху для цього перегону (рис. 9).

Побудову кривої $t(l)$ проводять з використанням кривої $v(l)$. Для цього до прийнятих раніше масштабів m_v , m_l , m_f підбирають зручний масштаб часу m_t і за формулою (2) визначають величину полюсної відстані Δ , мм. Значення, що рекомендуються, m_t і Δ приведені в табл. 1. Побудову кривої $t(l)$ з використан-

ням кривої $v(l)$ і полюсної відстані Δ показано на рис. 9. Ордината точки перетину цієї кривої з перпендикуляром, проведеним з кінця перегону, в масштабі часу визначає повний час руху потягу на перегоні t_x .

Полюсну відстань $0_t h = \Delta$ відкладають звичайно поблизу і знизу осі l від точки 0_t (від полюса) нагору паралельно осі v . З точки h проводять пряму $h - h'$ перпендикулярно $0_t h$. На ній від точки h управо відкладають відрізки $h-1, h-2, \dots$, що відповідають середнім швидкостям руху $v_{cp1} = \Delta v_1 / 2, v_{cp2} = v_1 + \Delta v_2 / 2, \dots$ в межах відповідних послідовних інтервалів $\Delta v_1, \Delta v_2, \dots$, і отримані точки $1, 2, \dots$ з'єднують прямими з полюсом 0_t . Від початку відліку часу на осі ординат, що проходить через початкову точку $0'$ кривої $v(l)$, будують криву $t(l)$. Проводять пряму $0'-1'$ паралельно променю 0_t-1 у межах першого збільшення шляху Δl_1 . З точки $1'$ паралельно променю 0_t-2 проводять пряму $1'-2'$ до точки перетину з прямою, паралельною осі ординат, що проходить через кінець приросту Δl_2 і т.д. Проекції відрізків $0'-1', 1'-2', \dots$ на вісь ординат (часу) дорівнюють приростам $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$. При такому порядку виконання побудов $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$ автоматично складаються.

У зворотному напрямку криві руху $v(l)$ і $t(l)$ будують графоаналітичним способом за середнім спрямленим профілем, величину якого визначають за виразом

$$i_{cp} = \Sigma i l / \Sigma l, \quad (19)$$

де i - беруть з урахуванням знаків спрямленого профілю при русі в зворотному напрямку.

Криві руху зворотного напрямку будують на тому ж графіку, на якому побудовані криві для прямого напрямку. Під спрямленим реальним профілем указується величина середнього профілю. Для розрахунку використовують побудовані раніше криві прискорюючих і сповільнюючих сил $f_0(v), w_{ox}(v), b_0(v)$ і $v_{max.T}(i)$. Величину середнього профілю враховують шляхом переносу початку координат на відрізок $i_{cp} m_f$ з урахуванням знака (точка 0_2 на осі ординат рис. 9). Розрахунок кривих руху треба вести за допомогою табл. 11, в яку заносяться вихідні і розрахункові величини.

Інтервал Δv повинний бути не більше 5 км/год там, де діюча сила змінюється мало, і не більше 3 км/год там, де сила змінюється значно.

Збільшення часу і шляхи обчислюють за формулами

$$\Delta t = 28,3 (1+\gamma)\Delta v / f_{\text{д.ср}}, \text{ с}; \quad (20)$$

$$\Delta l = \frac{v_{\text{ср}} \cdot \Delta t}{3,6}, \text{ м}. \quad (21)$$

Таблиця 11 - Вихідні дані і результати графоаналітичного розрахунку кривих руху потягу $v(l)$ і $t(l)$

Режим руху	№ п/п	v , км/год	Δv , км/год	$v_{\text{ср}}$, км/год	$f_{\text{д.ср}}$, Н/кН	Δt , с	t , с	Δl , м	l , м	Примітка
	0	$v_o=0$	-	-	-	-	$t_o=0$	-	$l_o=0$	
Тяга	1									
	2									
	:									
Вибіг	:									
Гальмування	:									

За допомогою табл.11 і формул (20) , (21) розрахунок ведуть для режимів пуску, вибігу і гальмування. Побудову кривих $v(l)$ і $t(l)$ слід робити одночасно з розрахунком. Зразковий вид кривих для зворотного напрямку руху показаний тонкими лініями на рис.9. Тут справедливі ті ж зауваження щодо характеру руху, що були розглянуті при русі в прямому напрямку. При досягненні сталої швидкості v_y подальший розрахунок на елементі профілю, на якому була досягнута ця швидкість, виконують за виразом для рівномірного руху:

$$t_y = \frac{3,6 \cdot l_y}{v_y}, \text{ с}, \quad (22)$$

де l_y - довжина шляху сталої швидкості.

Криву вибігу будують від допустимої швидкості руху або перед зупинкою, таким чином, щоб величина часу вибігу складала не менше 10..15% від часу руху на перегоні t_x .

Криву гальмування розраховують і будують у зворотному порядку (від $v = 0$) з кінця перегону. При заданому значенні швидкості v_T криву будують до цієї швидкості, а далі в зворотному порядку будують криву вибігу до перетину з кривою руху режиму тяги.

Одночасно з побудовою кривих $v(l)$ і $t(l)$ необхідно будувати криву $I_l(l)$ струму потягу, для чого використовують криву струму потягу залежно від швидкості руху $I_l(v)$ при тязі (рис. 8). Для зручності криву $I_l(v)$ бажано побудувати на діаграмі діючих сил (рис. 9). Далі для точок кривої $v(l)$, за якими остання будувалася, знаходять відповідні величини швидкості і за кривою $I_l(v)$ визначають спожитий потягом струм I_l . Його відкладають у певному масштабі на тому ж графіку, де побудовані криві руху (див. рис.9). Розрахунки і побудову кривої $I_l(l)$ зручно вести за допомогою табл. 12.

Таблиця 12 - Дані для побудови кривої спожитого потягом струму $I_l(l)$

№ п/п	$l, м$	$v, км/год$	$I_l, А$
1			
2			
.			
.			
.			

Оскільки на графіку з кривими руху будують кілька кривих для обох напрямків, для більшої ясності доцільно користуватися кольоровими креслярськими олівцями таких кольорів: зелений - для зображення швидкості - v , брунатний - t , червоний - I_l ; для руху в прямому напрямку - жирні лінії, для руху в зворотному напрямку - тонкі лінії.

За побудованими кривими руху можна розрахувати окремо для кожного напрямку величину середньої (ходової) швидкості руху на перегоні v_x , пускове прискорення a_n і гальмове уповільнення a_T за наступними виразами:

$$v_x = \frac{3,6 \cdot l_{nep}}{t_x}, км / год; \quad (23)$$

$$a_n = \frac{v_n^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot l_n}, \quad \text{м/с}^2; \quad (24)$$

$$a_T = \frac{v_T^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot l_T}, \quad \text{м/с}^2; \quad (25)$$

де $l_{пер}$ - довжина перегону, м;

t_x - час руху потягу перегоном, с;

v_n і l_n - швидкість пуску, км/год, і довжина шляху, м, пройденого потягом до виходу на автоматичну характеристику при повному полі;

v_T і l_T гальмова швидкість, км/год, і шлях гальмування, м.

У результаті розрахунків повинне бути отримане креслення з кривими руху і допоміжними даними, як показано на рис. 9. Значення t_x , v_x , a_n , a_T , заносять до таблиці, приведену на рис. 9.

2.11. Визначення витрат енергії на рух потягу

Витрати енергії на рух потягу для обох напрямків визначають двома способами: за кривими руху й аналітично.

Розрахунок витрати енергії за кривими руху

Витрати енергії за кривими руху знаходять за виразом

$$A = \frac{I}{\eta_{ТС} \cdot \eta_{ПСТ}} \left[\frac{U_{CP}}{3600} (\sum I_{Л.СР} \Delta t) + \frac{P_{CH} \cdot l_{ПЕР}}{v_{СП}} \right], \quad \text{Вт} \cdot \text{год}. \quad (26)$$

Тут $\sum I_{Л.СР} \cdot \Delta t$ - сума, на період тяги в одному напрямку руху, А·с;

$\eta_{ТС}$ - середній ККД тягової мережі; для МЕТ $\eta_{ТС} = 0,93$;

$\eta_{ПСТ}$ - середній ККД тягової підстанції; для МЕТ $\eta_{ПСТ} = 0,95$;

U_{CP} - середнє значення напруги в контактній мережі, В;

$l_{пер}$ - довжина перегону, м;

$v_{СП}$ - швидкість повідомлення на перегоні, км/год,

$$v_{СП} = \frac{3,6 \cdot l_{пер}}{t_x + t_{ост}}; \quad (27)$$

P_{CH} - потужність навантаження власних потреб, кВт, орієнтовні значення якої приведені в табл. 13.

Таблиця 13 - Значення потужності навантаження власних потреб

Тип рухомого складу	P_{CH} , кВт
Трамвай	1,5 – 2,5
Тролейбус	1,5 – 2,0
Метрополітен	2,5 – 3,0

Для визначення суми $\sum I_{л.ср} \Delta t$ використовують побудовані раніше криві руху і криву спожитого потягом струму $I_{л}(l)$, що розбивається на відрізки шляху Δl , у межах яких струм $I_{л}$ змінюється незначно. Для кожного відрізка Δl визначають середній струм $I_{л.ср}$, а за кривою $t(l)$ – тривалість Δt проходження цього відрізка шляху. Розрахунки зручно вести за допомогою табл. 14.

Таблиця 14 - Дані для розрахунку витрати енергії і середньоквадратичного струму двигуна

$\begin{matrix} \text{№} \\ n/n \end{matrix}$	$\begin{matrix} \Delta l, \\ \text{м} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \Delta t, \\ \text{с} \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_{л.ср}, \\ \text{А} \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_{л.ср} \cdot \Delta t, \\ \text{А} \cdot \text{с} \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_{ср} = \frac{I_{л.ср}}{n_n}, \\ \text{А} \end{matrix}$	$\begin{matrix} I_{ср}^2 \cdot \Delta t, \\ \text{А}^2 \cdot \text{с} \end{matrix}$	<i>Режим</i>
	1	2	3	4	5	6	7
1							
2							
:							
:							
:							
κ				$\sum_{i=1}^k I_{л.срi} \cdot \Delta t_i$		$\sum_{i=1}^k I_{срi}^2 \cdot \Delta t_i$	

У таблицю вводять графи 5 і 6, необхідні для визначення середньоквадратичного струму двигуна, що буде використовуватися надалі для перевірки потужності двигуна за нагріванням. Питому витрату енергії знаходять за виразом

$$A_{y0} = \frac{A}{G \cdot l_{пер} \cdot 10^{-3}}, \quad \frac{Вт \cdot год}{кН \cdot км}, \quad (28)$$

де G – вага потягу, кН;

$l_{пер}$ – довжина перегону, м.

Приблизні значення питомої витрати енергії для різних типів рухомого складу наведені в табл. 15

Таблиця 15 - Приблизні значення питомої витрати енергії

Тип рухомого складу	$A_{уд}, Bm \cdot год / (кН \cdot км)$
Трамвай	3,5 – 9,0
Тролейбус	12 – 20
Метрополітен	4 – 7

Аналітичний розрахунок витрат енергії

При аналітичному методі витрат енергії визначають шляхом розрахунку окремих складових:

$$A = \left[\frac{A_w + A_i + A_T}{\eta_{cp}} + A_{II} + A_{сн} \right] \frac{I}{\eta_{ТС} \eta_{пст}}, Bm \cdot год. \quad (29)$$

Тут A_w , A_i , A_T , A_{II} , $A_{сн}$ - витрати енергії відповідно на подолання основного опору руху, подолання уклонів, гальмування до зупинки, у пускових пристроях і на власні потреби;

η_{cp} - середній ККД двигуна, який знаходять за кривою $\eta(I)$ двигуна для повної напруги і найбільшого ослаблення поля; значення середнього ККД двигуна може бути взятє на 1-1,5 % нижчим за його максимальне значення.

Як і раніше, витрати енергії аналітичним методом визначають для обох напрямків руху.

Повну і питому витрати енергії на подолання основного опору рухів знаходять за виразами

$$A_w = \frac{G \cdot l_{пер} w_{ох-сп}}{3600}, Bm \cdot год; \quad (30)$$

$$A_{wуд} = \frac{w_{ох-сп}}{3,6} = 0,278 \cdot w_{ох-сп}, \frac{Bm \cdot год}{кН \cdot км}, \quad (31)$$

де G - вага потягу, кН;

$l_{пер}$ - довжина перегону, м;

$w_{ox\text{-}cp}$ - середнє значення основного опору руху, що визначається за кривою w_{ox} (v) для руху без струму для швидкості $v = l \cdot v_{cp}$.

Повну і питому витрати енергії на подолання уклонів визначають за виразами

$$A_i = \frac{G \cdot l_{nep} \cdot i_{\text{э}}}{3600}, Bm \cdot год; \quad (32)$$

$$A_{i\text{ уд.}} = \frac{i_{\text{э}}}{3,6} = 0,278 \cdot i_{\text{э}}, \frac{Bm \cdot год}{кН \cdot км}, \quad (33)$$

де $i_{\text{э}}$ - еквівалентний за витратою енергії уклон, ‰, що визначається за виразом

$$i_{\text{э}} = i_{cp} + \frac{\sum(i_{\text{э}} \cdot l_{\text{э}} - w_{ox\text{-}cp} \cdot l_{\text{э}}) + \sum(w_{кр} \cdot l_{кр})}{l_{nep}}, \quad (34)$$

де l_{cp} - середній уклон реального профілю (без обліку кривих), який знаходять за виразом

$$i_{cp} = (\sum i \cdot l) / \sum l; \quad (35)$$

$i_{\text{э}}, l_{\text{э}}$ - уклон і довжина шкідливого спуску, на якому виконується підгальмування;

$w_{кр}, l_{кр}$ - питомий опір руху в кривій і її довжина;

значення $w_{кр}$ яке знаходять за виразом:

$$w_{кр} = \frac{450}{R_{кр}}, H / кН, \quad (36)$$

де $R_{кр}$ - радіус кривої, м.

Шкідливим вважається спуск, для якого справедливо $i > w_{ox\text{-}max}$, де $w_{ox\text{-}max}$ - питомий основний опір руху при їзді без струму при максимальній швидкості, допустимій на певному спуску. Визначення межі шкідливих і нешкідливих спусків показано на рис. 9.

Повну і питому витрату енергії на гальмування до зупинки визначають за наступними виразами:

$$A_T = \frac{10^{-3} \cdot G \cdot v_T^2}{2 \cdot 3,6^3} \left[102 \cdot (1 + \gamma) - \frac{w_{ox\text{-}cp} + i_T}{a_T} \right], Bm \cdot год; \quad (37)$$

$$A_{гуд} = \frac{v_T^2}{2 \cdot 3,6^3 \cdot l_{пер}} \left[102 (1 + \gamma) - \frac{w_{ox.ср} + i_T}{a_T} \right], \frac{Вт \cdot год}{кН \cdot км}; \quad (38)$$

де G - вага потягу, кН;

$l_{пер}$ - довжина перегону, м;

v_T - швидкість початку гальмування, км/год;

i_T - середній ухил на гальмовому шляху, ‰;

$w_{ox.ср}$ - середнє значення основного питомого опору руху, що визначається за кривою $w_{ox}(v)$ для руху без струму для швидкості $0,7 \cdot v_T$, Н/кН;

a_T - середнє значення питомого гальмового уповільнення, м/с².

При гальмуванні від швидкості v_{T1} до v_{T2} у виразах (37) і (38) замість v_T^2 слід підставляти $(v_{T1}^2 - v_{T2}^2)$.

Розподілом сумарної витрати енергії $A_w + A_i + A_T$ на середній ККД $\eta_{ср}$ двигуна враховується витрата енергії, пов'язана з втратами в тягових двигунах.

Якщо на рухомому складі встановлений постійно включений перетворювач, то додаткова витрата енергії, зумовлена втратами в перетворювачі, визначається розподілом сумарної витрати енергії на ККД перетворювача $\eta_{пр}$.

Повну і питому витрату енергії в пускових пристроях у випадку реостатного пуску знаходять за наступним виразами:

$$A_n = \frac{10^{-3} \cdot G \cdot v_n^2 \cdot k_n}{2 \cdot 3,6^3} \left[102 \cdot (1 + \gamma) + \frac{w_{o.ср} + i_n}{a_n} \right], Вт \cdot год; \quad (39)$$

$$A_{гуд} = \frac{v_n^2 \cdot k_n}{2 \cdot 3,6^3 \cdot l_{пер}} \left[102 \cdot (1 + \gamma) + \frac{w_{o.ср} + i_n}{a_n} \right], \frac{Вт \cdot год}{кН \cdot км}, \quad (40)$$

де v_n - швидкість виходу на автоматичну характеристику повного поля при пуску, км/год;

i_n - середній уклон на пусковому шляху, ‰;

a_n - середнє значення пускового прискорення, м/с²;

$w_{ox.ср}$ - середнє значення питомого основного опору руху, що визначається за кривою $w_o(v)$ для руху під струмом при швидкості $0,7 \cdot v_n$, Н/кН;

k_n - коефіцієнт пуску, зумовлений схемою переключення двигунів при пуску.

При відсутності переключень $k_n=1$. При двох або чотирьох двигунах, що переключаються в двох угрупованнях, $k_n=0,5$.

За наявності імпульсного перетворювача, що включається на період пуску, замість k_n у формули (39) і (40) слід підставити $(1-\eta_{пр})$, де $\eta_{пр}=0,92...0,94$ - середній ККД перетворювача.

Витрата енергії на власні витрати, розглянута вище:

$$A_{сн} = \frac{P_{сн} \cdot l_{пер}}{v_{сн}}, Вт \cdot год, \quad (41)$$

де $P_{сн}$ - потужність навантаження власних витрат, кВт (див. табл. 13);

$l_{пер}$ - довжина перегону, м ;

$v_{сн}$ - швидкість повідомлення на перегоні, км/год.

Коефіцієнти $\eta_{тс}$ і $\eta_{пст}$ враховують витрату енергії, що визначається втратами в тяговій мережі і на підстанції.

Розглянутими вище методами слід розрахувати витрати енергії окремо як для руху в прямому напрямку, так і для руху в зворотному напрямку. Розбіжність між величинами питомої витрати енергії, розрахованою за кривими руху й аналітичними методами, не повинна перевищувати $\pm 10\%$.

2.12. Перевірка потужності двигуна способом середнього квадратичного струму

Сутність цього способу наближеної перевірки придатності двигуна за потужністю полягає у порівнянні середнього квадратичного (ефективного, діючого, еквівалентного) струму $I_{сер.кв}$ навантаження двигуна з його струмом I_{∞} тривалого номінального режиму, що є паспортною величиною,

Середньоквадратичний струм двигуна за час руху потягу в прямому і зворотному напрямках з урахуванням зупинок визначають за формулою

$$I_{сер.кв} = \sqrt{\frac{1}{t_p} \left(\sum I_{сер.i}^2 \cdot \Delta t_i + \sum I_{T.сер.i}^2 \cdot \Delta t_i \right)}, А. \quad (42)$$

Тут $I_{ср.i}$ і $I_{т.ср.i}$ - середній струм двигуна в інтервалі часу Δt_i відповідно в режимі тяги і реостатного гальмування, А ;

t_p - час рейсу, с, який знаходять з виразу

$$t_p = t_{х.прямо} + t_{х.назад} + 2t_{ост} . \quad (43)$$

Для міського транспорту (трамвай, тролейбус, метро) значення часу зупинки $t_{зуп} = 20..30$ с.

У режимах тяги суму $\sum I_{ср.i}^2 \cdot \Delta t_i$ беруть з табл. 14; у режимах реостатного гальмування можна прийняти

$$I_T = 0,8 I_n = const \quad i \quad \sum I_{т.ср.i}^2 \cdot \Delta t_i = (0,8 \cdot I_n)^2 \cdot t_T ,$$

де t_T - час гальмування до зупинки.

Перевірку придатності тягового двигуна за потужністю визначають співвідношенням

$$I_\infty \geq I_{ср.кв} \cdot k_3, \quad (44)$$

де k_3 - коефіцієнт запасу, значення якого вибирають з урахуванням впливу на нагрівання двигуна способу його охолодження, температури навколишнього середовища, нерівномірності розподілу навантажень між паралельно з'єднаними двигунами, погіршення реальних умов охолодження, а також покладених в основу розглянутого способу допущень /не враховується вплив на нагрівання обмотки якоря магнітних втрат, а також зміна опору обмотки від температури.

Для самовентильованих тягових двигунів міського електротранспорту можна прийняти $k_3 = 1,1.....1,2$.

Якщо в результаті перевірки потужність двигуна виявиться недостатньою, варто дати рекомендації щодо зміни режиму руху потяга, щоб потужність двигуна була достатньою. Якщо в результаті перевірки потужність двигуна виявиться надмірною, варто дати рекомендації щодо кращого використання тягового двигуна.

Харківська національна академія міського господарства

Кафедра «Електричний транспорт»

Завдання
до курсової роботи з дисципліни
«Основи електричної тяги»

студенту _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема курсової роботи – тягові розрахунки руху поїзда на заданому перегоні в прямому та зворотному напрямках.

Термін здачі студентом закінченні курсової роботи _____.

Вихідні дані роботи:

1. Номер перегону _____, остановочні пункти _____

Профіль і план перегону

$i, \%$								
$l, \text{м}$								
$R_{KP}, \text{м}$								
$l_{KP}, \text{м}$								

2. Тип ЕРС _____

3. Технічна характеристика ЕРС:

повна вага $G =$ _____ кН;

діаметр движучих колес $D_K =$ _____ мм;

максимальна (конструкційна) швидкість $V_{\max} =$ _____ км/год;

кількість тягових двигунів $Z_M =$ _____;

передаточне число редуктора $\mu =$ _____;

номинальна напруга в контактній мережі $U_K =$ _____ В;

тип тягових двигунів _____

середнє пускове прискорення $a_{\Pi} =$ _____ м/с²;

ступінь ослаблення магнітного поля ТЕД _____

4. Електромеханічні характеристики ТЕД _____,

віднесені до ободу колеса, при $U_D =$ _____ В, $D_K =$ _____ мм, $\mu =$ _____

I, А	$\alpha = \dots \% , I_{III} = \dots \text{А}$			$\alpha = \dots \% , I_{III} = \dots \text{А}$		
	V, км/год	F _K , Н	$\eta, \%$	V, км/год	F _K , Н	$\eta, \%$
0						
50						
75						
100						
150						
200						
250						
300						
350						
400						

5. Технічні дані ТЕД

Напруга, на яку виконана ізоляція, $U_c =$ _____ В;

Напруга на колекторі, $U_d =$ _____ В;

Потужність (часова) на валу, $P_q =$ _____ кВт;

Ток якоря, $I_q / I_\infty =$ _____ / _____ А;

Частота обертання, $n_q / n_{\max} =$ _____ / _____ об/хв;

Коефіцієнт корисної дії, $\eta_q =$ _____ %;

Опір ланцюга якоря r при 115 °С _____ Ом;

На підставі вихідних даних виконати

1. Спрямити профіль.
2. Розрахувати та побудувати криві питомого основного опору руху поїзда при русі під струмом $w_0(v)$ та без струму $w_{0x}(v)$.
3. Побудувати електромеханічні характеристики ТЕД.
4. Розрахувати і побудувати питому тягову характеристику поїзду $f(V)$ та характеристику питомої прискорюючої сили на прямому і горизонтальному шляху $f_0(V)$.
5. Розрахувати і побудувати характеристику питомої сповільнюючої сили при реостатному гальмуванні $b_0(V)$.
6. Розрахувати і побудувати характеристику питомої сповільнюючої сили при екстреному гальмуванні $b_{0.ЭК}(V)$.
7. Розрахувати та побудувати криву максимальної допустимої швидкості руху на уклоне $V_{\max}(i)$.
8. Побудувати криву спожитого потягом струму $I_L(V)$.
9. Побудувати криві руху поїзду $V(l)$ и $t(l)$.
10. Нанести на криві руху поїзда криві спожитого струму $I_L(l)$ та визначити за ціми кривими повні та питомі витрати енергії на рух поїзда.
11. Визначити повні і питомі витрати енергії на рух поїзда аналітичним методом.
12. Визначити повні і питомі витрати енергії на рух поїзда графічним методом.
13. Перевірити потужність ТЕД способом середнього квадратичного струму.

Дата видачі завдання _____

Керівник _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

*Міністерство освіти і науки України
Харківська національна академія міського господарства*

Кафедра електричного транспорту

Розрахунково-пояснювальна записка
до курсової роботи з дисципліни

"Основи електричної тяги"

Студент групи

Петров І.І. _____

Керівник

Сидоров М.А. _____

Дата _____

Зразок штампа

<i>Назва креслення</i>						20
<i>Побудував</i>				<i>Курсова робота</i>	<i>№</i>	10
<i>Прийняв</i>				<i>з ОЕТ гр.ЕТ-0-00</i>	<i>00</i>	10
20	20	20	15	35	10	

Варіанти завдань з електрорухомого складу

Таблиця 4.1.

№ варіанта	Тип ЕРС	Місткість, пас.	Маса, кг	Повна маса, кг	Діаметр колеса, мм	Передаточне відношення	Максимальна швидкість, км/год	Кількість ТЕД	Тип ТЕД
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Трамвайні вагони									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	КТМ-71605	135	19600	29725	710	7,143	75	4	ДК-260А
2	КТМ-71608 (ТІСУ)	135	19500	29625	710	7,143	75	4	ДК-259Г-6
3	КТМ-71616 (IGBT)	135	19600	29625	710	7,143	75	4	ДК-259Г4
4	КТМ-71619 (IGBT)	135	18600	28700	710	7,143	75	4	ДК-260А
5	КТМ- 71621 (IGBT)	135	18200	28300	710	7,143	75	4	ДК261А
6	ЛМ-93	115	18500	27150	710	7,143	75	4	ДК-259Г3
7	ЛМ-93 (ТІСУ)	115	18500	27150	710	7,143	75	4	ДК-259Г6
8	Т3 (ТАТРА)	115	17000	25625	700	7, 43	65	4	ТЕ-022
9	ТЗМ (ТАТРА) (ІСУ)	128	18400	28000	700	7,14	70	4	ТЕ-022А

Таблиця 4.2.

№ варіанта	Тип ЕРС	Місткість, пас.	Маса, кг	Повна маса, кг	Діаметр колеса, мм	Передаточне відношення	Максимальна швидкість, км/год	Кількість ТЕД	Тип ТЕД
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

44

Тролейбуси									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	ЗІУ-682Б	91	10050	16875	1070	11,3	70	1	ДК-210А3
11	ЗІУ-682Г	118	10100	18200	1070	10,699	60	1	ДК-207И
12	ЗІУ-682С	108	10887	18306	1070	10,69	60	1	ДК-213Б
13	ЗІУ-683Б	164	14660	25982	1070	10,69	60	1	ДК-211БМ
14	TROLZA-6205 (TICY)	166	15335	26698	1070	11,33	60	1	ДК-211А
15	TROLZA-6206 (TICY)	166	16500	27800	1070	10,699	60	1	ДК-211Б
16	TROLZA-5275	100	10600	18600	1070	10,699	60	1	ДК-213Б
17	TROLZA-52642 (TICY)	116	11670	19630	1070	10,699	70	1	ДК-220
18	TROLZA-52643 (TICY)	114	11575	19082	1070	10,69	70	1	ДК-211Б
19	ШКОДА-14 ТрМ	100	10000	16000	1020	10,77	65	1	ЗАЛ-2943N
20	АКСМ-101	114	10900	18720	1070	10,69	70	1	ДК-211А
21	ЗІУ-682Г	118	10010	18200	1070	10,699	60	1	ДК-211Б

Таблиця 4.3.

№ варіанта	Тип ЕРС	Місткість, пас.	Маса, кг	Повна маса, кг	Діаметр колеса, мм	Передаточне відношення	Максимальна швидкість, км/год	Кількість ТЕД	Тип ТЕД
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Вагони метрополітену									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	Вагон серії «Д»	270	36200	56450	900	5,73	75	4	ДК-104Г
23	Вагон серії «Е»	270	30600	50850	780	5,33	90	4	ДК-108А
24	Вагон серії «И»	290	30200	51950	780	5,33	90	4	ДК-117А
25	Вагон 81817	310	29800	53050	780	5,33	90	4	ДК-117А

Технічні дані ТЕД

Таблиця 5.1.

ТЕД трамвайних вагонів								
Параметри	ДК-259Г3	ДК-259Г4	ДК-259Г6	ДК-260А	ДК-261А	ДК-261Б	ТЕ-022	ТЕ-022А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напруга U_d , В	275	275	275	275	275	275	300	300
Потужність P_q , кВт	45	45	55	50	60	60	40	45
Струм I_q / I_∞ , А	$\frac{190}{150}$	$\frac{190}{145}$	$\frac{230}{190}$	$\frac{214}{178}$	$\frac{250}{215}$	$\frac{250}{200}$	$\frac{150}{150}$	$\frac{160}{160}$
	$\frac{1200}{4010}$	$\frac{1250}{4050}$	$\frac{1460}{4050}$	$\frac{1140}{4050}$	$\frac{1460}{4050}$	$\frac{1500}{4060}$	$\frac{1780}{4200}$	$\frac{1700}{4200}$
Частота обертання n_q / n_{max} , об/хв	$\frac{1200}{4010}$	$\frac{1250}{4050}$	$\frac{1460}{4050}$	$\frac{1140}{4050}$	$\frac{1460}{4050}$	$\frac{1500}{4060}$	$\frac{1780}{4200}$	$\frac{1700}{4200}$
Кількість витків на полюс обмотки послідовного збудження	22	29	30	24	28	19	32	33
Кількість витків на полюс обмотки паралельного збудження	630	-	-	320	-	650	-	-
Кількість колекторних пластин	175	175	175	145	139	139	145	145
Опір кола якоря r при 115°C, Ом	0,1887	0,1739	0,1261	0,1823	0,105	0,1165	0,1124	0,1134

Таблиця 5.2.

ТЕД тролейбусів								
Параметри	ДК-207И	ДК-210А3	ДК-211А	ДК-211Б	ДК-211БМ	ДК-213Б	3AL-2943N	ДК-220
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напруга U_d , В	550	550	550	550	550	550	600	550
Потужність P_q , кВт	100	110	150	150	170	115	115	150
Струм I_q / I_∞ , А	$\frac{200}{175}$	$\frac{220}{185}$	$\frac{300}{255}$	$\frac{300}{255}$	$\frac{340}{300}$	$\frac{232}{205}$	$\frac{208}{208}$	$\frac{300}{270}$
Частота обертання n_q / n_{max} , об/хв	$\frac{1780}{3900}$	$\frac{1470}{3900}$	$\frac{1750}{3900}$	$\frac{1860}{3900}$	$\frac{1600}{3900}$	$\frac{1430}{3900}$	$\frac{1500}{4000}$	$\frac{1800}{3900}$
Кількість витків на полюс обмотки послідовного збудження	30	24	30	30	28	24	28	30
Кількість витків на полюс обмотки паралельного збудження	-	930	-	-	-	-	-	-
Кількість колекторних пластин	210	175	210	210	210	175	210	210
Опір кола якоря r при 115°C, Ом	0,2067	0,2026	0,1208	0,1229	0,1124	0,1972	0,1293	0,1314

Таблиця 5.3.

ТЕД вагонів метрополітену			
Параметри	ДК-104Г	ДК-108А	ДК-117А
1	2	3	4
Напруга U_d , В	375	375	375
Потужність P_q , кВт	72	64	110
Струм I_q / I_∞ , А	$\frac{220}{200}$	$\frac{195}{175}$	$\frac{330}{295}$
	$\frac{1230}{4020}$	$\frac{1530}{4020}$	$\frac{1480}{4050}$
Частота обертання n_q / n_{max} , об/хв			
Кількість витків на полюс обмотки послідовного збудження	33	30	26
Кількість витків на полюс обмотки паралельного збудження	-	930	-
Кількість колекторних пластин	195	195	195
Опір кола якоря r при 115°C, Ом	0,1696	0,194	0,1028

Електромеханічні характеристики тягових двигунів трамвайних вагонів,
приведені до ободу рушійного колеса

Таблиця 6.1.

ДК-259Г6, $U_d = 275 \text{ В}$, $D_k = 710 \text{ мм}$, $\mu = 7,143$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 30\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
100	28,8	3040	86,0	73,2	981	71,7
150	24,8	5435	88,0	54,5	2413	83,5
200	22,0	8044	87,5	44,7	4022	87,1
250	20,0	10790	86,8	39,0	5749	88,0
300	19,2	13440	85,5	35,5	7632	87,5
350	18,5	16088	83,8	32,5	9555	85,6
400	18,0	18835	81,5	30,0	11576	83,5

Таблиця 6.2.

ДК-259Г4, $U_d = 275 \text{ В}$, $D_k = 710 \text{ мм}$, $\mu = 7,143$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 40\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
60	62,8	1766	82,2	-	589	74,0
100	45,0	3924	86,9	85,5	1864	84,2
150	36,7	7161	88,0	65,0	4002	88,0
200	31,7	10418	86,7	55,5	6278	87,5
250	28,5	13950	85,0	48,9	8633	86,0
300	25,5	17462	82,0	43,8	10987	84,0

Таблица 6.3.

ДК-259ГЗ, $U_d = 275 \text{ В}$, $D_k = 710 \text{ мм}$, $\mu = 7,143$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$, $I_{ш} = 1,8 \text{ А}$			$\alpha = 35\%$, $I_{ш} = 0$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
60	24,5	2060	83,0	81,5	589	64,0
100	20,5	4022	86,5	46,7	1785	78,9
150	17,6	7161	86,8	33,8	3806	83,9
200	15,7	10791	85,5	28,1	5984	85,0
250	14,7	14382	82,5	24,3	8378	83,3
300	14,0	18070	79,0	22,0	10909	80,7

Таблица 6.4.

ДК-260А, $U_d = 275 \text{ В}$, $D_k = 710 \text{ мм}$, $\mu = 7,143$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$, $I_{ш} = 1,8 \text{ А}$			$\alpha = 35\%$, $I_{ш} = 0$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
60	25,7	1962	83,7	-	196	-
100	20,7	3983	87,0	53,7	1432	78,5
150	17,9	6867	87,5	38,2	3237	84,7
200	16,5	10006	85,9	31,0	5396	85,0
250	16,0	13047	83,0	27,0	7809	84,3
300	15,8	15990	79,5	25,0	10104	82,0

Таблица 6.5.

ДК-261А, $U_d = 275 В$, $D_k = 710 мм$, $\mu = 7,143$						
$I, А$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 30\%$		
	$V, км/ГОД$	$F_k, Н$	$\eta, \%$	$V, км/ГОД$	$F_k, Н$	$\eta, \%$
60	-	883	70,0	-	-	-
100	34,5	2845	84,8	92,5	785	74,5
150	28,0	5199	88,0	69,5	1864	84,5
200	24,3	7750	87,8	53,5	3178	88,0
250	21,8	10261	86,5	44,5	4748	88,0
300	20,2	12753	84,5	39,0	6435	86,5
350	19,4	15304	81,5	34,5	8397	84,0

Таблица 6.6.

ТЕ-022, $U_d = 300 В$, $D_k = 700 мм$, $\mu = 7,43$						
$I, А$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 50\%$		
	$V, км/ГОД$	$F_k, Н$	$\eta, \%$	$V, км/ГОД$	$F_k, Н$	$\eta, \%$
50	-	840	-	-	-	-
75	44,0	1760	90,5	-	840	-
100	38,6	2720	91,2	73,6	1460	88,8
150	31,6	4730	90,1	53,4	2930	89,5
200	27,9	7000	88,3	45,1	4380	88,4
250	25,4	9270	86,2	40,0	6070	86,8
300	23,4	11990	84,2	36,2	7730	85,4
350	21,8	-	82,5	33,2	9620	83,8

Таблица 6.7.

ТЕ-022А, $U_d = 300 \text{ В}$, $D_k = 700 \text{ мм}$, $\mu = 7,14$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 50\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
60	48,5	1374	90,5	-	-	87,5
100	35,0	2806	90,8	66,5	1530	90,2
150	28,5	5062	89,5	48,5	2943	90,3
200	25,0	7613	87,0	40,7	4807	88,5
250	22,7	10163	84,0	36,0	6671	85,7
300	21,5	12753	80,5	32,8	8535	82,5

Таблица 6.8.

ДК-261Б, $U_d = 275 \text{ В}$, $D_k = 700 \text{ мм}$, $\mu = 7,17$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%, I_{ш} = 2,4 \text{ А}$			$\alpha = 40\%, I_{ш} = 2,4 \text{ А}$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
100	26,8	3090	83,5	85,3	-	-
150	23,7	5450	87,0	61,5	2100	81,3
200	22,3	7880	86,5	50,3	3480	86,9
250	21,2	10200	85,1	44,8	4870	87,3
300	20,1	12600	83,2	41,2	6300	86,7
350	19,3	15200	81,0	38,3	7700	85,5

Електромеханічні характеристики тягових двигунів тролейбусів, приведені до ободу рушійного колеса

Таблиця 7.1.

ДК-207И, $U_d = 550 \text{ В}$, $D_k = 1070 \text{ мм}$, $\mu = 10,699$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 40\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
50	55,0	1079	75,0	-	-	-
100	32,1	4513	89,2	65,0	2158	85,0
150	25,0	8711	90,0	47,0	4709	90,0
200	21,4	13420	89,2	38,0	7652	90,5
250	19,2	18247	88,3	32,5	10987	90,0
300	17,4	23544	87,0	28,5	14715	89,3
350	15,8	29038	85,1	25,5	18561	88,0
400	15,0	34924	83,0	23,2	22877	86,5

Таблиця 7.2.

ДК-210А-3, $U_d = 550 \text{ В}$, $D_k = 1070 \text{ мм}$, $\mu = 11,3$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%, I_{ш} = 2,7 \text{ А}$			$\alpha = 31\%, I_{ш} = 0,5 \text{ А}$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
50	32,25	2550	80,75	-	-	-
75	29,25	4500	85,25	-	-	-
100	27,0	6660	88,0	-	-	-
150	24,0	11650	89,0	63,0	-	-
200	21,5	16650	88,5	54,0	6560	88,0
250	20,0	21600	87,5	48,0	9100	88,75
300	18,6	27000	86,0	43,25	11950	88,25
350	17,5	33100	84,25	40,0	15000	87,5
400	16,75	39500	82,25	38,0	18000	86,25

Таблица 7.3.

ДК-211БМ, $U_d = 550 \text{ В}$, $D_k = 1070 \text{ мм}$, $\mu = 10,69$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 35\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
100	42,5	4316	84,4	-	-	77,0
150	33,3	9025	88,4	71,5	3924	86,5
200	28,6	13891	89,5	54,0	7063	90,6
250	25,5	18443	89,5	45,5	10595	91,6
300	23,5	23152	89,0	40,0	13891	91,5
350	22,0	27664	88,3	36,0	17266	91,0
400	20,9	32334	87,1	33,0	20405	89,8
450	20,0	36886	86,0	30,5	23936	88,0

Таблица 7.4.

ДК-213Б, $U_d = 550 \text{ В}$, $D_k = 1070 \text{ мм}$, $\mu = 10,69$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 50\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
100	35,0	4316	80,0	65,0	2668	-
150	27,5	9143	88,7	48,5	5886	86,0
200	24,0	14323	89,5	38,5	9535	90,0
250	21,5	19620	88,5	34,0	13342	90,0
300	19,9	24917	87,0	30,9	17266	89,0
350	19,0	30019	85,2	29,0	21150	87,0
400	18,3	35316	83,1	27,5	25114	84,5

Таблица 7.5.

ДК-220, $U_d = 550 \text{ В}$, $D_k = 1070 \text{ мм}$, $\mu = 10,699$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 35\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
50	65,0	-	-	-	-	-
100	40,0	4316	85,8	-	-	-
150	31,5	8437	89,4	67,7	3963	90,0
200	27,2	13145	89,8	51,0	7102	92,0
250	24,5	17972	89,0	43,5	10634	92,5
300	22,8	23152	88,5	39,0	14205	92,5
350	21,5	28253	87,3	35,0	18050	92,2
400	20,9	33590	85,8	32,9	22367	91,5

Таблица 7.6.

ЗАЛ-2943N, $U_d = 600 \text{ В}$, $D_k = 1020 \text{ мм}$, $\mu = 10,77$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 50\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
100	35,4	4316	80,5	65,0	2551	-
150	28,0	9221	89,0	48,2	5886	86,0
200	24,2	14323	89,5	38,7	9496	90,0
250	21,5	19620	88,5	34,1	13381	90,0
300	20,0	24800	87,1	31,0	17266	89,0
350	19,0	30019	85,5	29,0	20993	87,0
400	18,5	35316	83,3	27,5	24996	85,0

Таблица 7.7.

ДК-211А, $U_{\text{д}} = 550 \text{ В}$, $D_{\text{к}} = 1070 \text{ мм}$, $\mu = 11,33$						
I , А	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 35\%$		
	V , км/ГОД	$F_{\text{к}}$, Н	η , %	V , км/ГОД	$F_{\text{к}}$, Н	η , %
100	40,0	4316	86,0	-	-	-
150	31,8	8633	89,0	67,3	4042	-
200	27,5	13145	89,5	51,0	7161	92,0
250	25,2	17893	89,1	43,3	10595	92,5
300	22,7	23152	88,5	38,7	14323	92,2
350	21,5	28253	87,5	35,1	18198	91,8
400	21,0	33550	86,2	32,2	22367	91,2

Таблица 7.8.

ДК-211Б, $U_{\text{д}} = 550 \text{ В}$, $D_{\text{к}} = 1070 \text{ мм}$, $\mu = 10,699$						
I , А	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 35\%$		
	V , км/ГОД	$F_{\text{к}}$, Н	η , %	V , км/ГОД	$F_{\text{к}}$, Н	η , %
50	40,0	4316	84,5	-	-	-
100	31,6	9143	88,5	71,5	4000	86,5
150	27,0	13734	89,6	54,0	6985	90,2
200	24,0	18247	89,5	44,8	10400	91,5
250	22,0	23152	89,1	39,8	13734	91,6
300	20,9	27821	88,5	35,9	17070	91,0
350	20,0	32373	87,4	32,5	20483	90,0
400	19,5	34727	86,0	30,0	23819	88,5

Додаток 8.

Електромеханічні характеристики тягових двигунів вагонів метрополітену,
приведені до ободу рушійного колеса

Таблиця 8.1.

ДК-104Г, $U_d = 375 \text{ В}$, $D_k = 900 \text{ мм}$, $\mu = 5,73$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 40\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
50	55,5	981	71,5	-	-	-
100	37,5	3139	83,5	65,5	1668	82,5
150	31,5	5592	85,2	49,0	3630	86,0
200	28,5	8044	84,2	42,0	5592	86,1
250	25,7	10791	82,4	38,0	7691	85,1
300	23,9	13734	80,5	35,5	9712	83,5
350	22,0	16726	78,5	33,5	11674	81,7
400	20,7	19914	75,7	31,5	13734	80,0

Таблиця 8.2.

ДК-108А, $U_d = 375 \text{ В}$, $D_k = 780 \text{ мм}$, $\mu = 5,33$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 35\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
50	73,0	746	73,0	-	-	-
100	42,3	2943	86,2	-	981	-
150	32,7	5396	87,2	72,0	2305	85,5
200	27,7	8299	85,5	56,5	4071	86,6
250	25,0	11183	82,5	48,5	5984	85,4
300	22,6	14166	79,7	43,5	7946	83,5
350	21,2	17324	77,1	38,5	10104	81,5
400	20,0	-	75,0	34,5	12655	78,5

Таблиця 8.3.

ДК-117А, $U_d = 375 \text{ В}$, $D_k = 780 \text{ мм}$, $\mu = 5,33$						
$I, \text{ А}$	$\alpha = 100\%$			$\alpha = 28\%$		
	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$	$V, \text{ км/ГОД}$	$F_k, \text{ Н}$	$\eta, \%$
100	58,0	2060	82,5	-	-	-
150	44,0	3826	85,5	-	-	79,5
200	37,2	6180	86,5	91,0	2354	83,5
250	33,5	8633	86,3	77,0	3630	86,0
300	30,6	11183	85,5	66,0	5003	87,3
350	28,6	13832	84,7	59,5	6573	88,0
400	27,0	16677	84,0	55,0	8142	87,7
450	25,6	19424	82,5	51,5	9947	87,5
500	24,7	-	81,0	49,0	11870	86,7

Профіль та план перегонів вагонів трамваю і тролейбусу

		№	Зупин.	Профілі перегонів									
$i, \%$ $l, м$ $R_{кр, м}$ $l_{кр, м}$	1	A_0A_1	$\frac{0}{60}$	$\frac{6}{70}$	$\frac{3}{65}$	$\frac{0}{75}$	$\frac{4}{55}$	$\frac{6}{80}$	$\frac{8}{75}$	$\frac{6}{40}$			
				$\frac{35}{70}$									
	2	A_1A_2	$\frac{6}{60}$	$\frac{4}{65}$	$\frac{2}{50}$	$\frac{0}{70}$	$\frac{3}{60}$	$\frac{5}{60}$	$\frac{7}{50}$	$\frac{10}{88}$			
						$\frac{30}{40}$							
	3	A_2A_3	$\frac{8}{75}$	$\frac{6}{70}$	$\frac{4}{80}$	$\frac{0}{120}$	$\frac{3}{80}$	$\frac{5}{60}$	$\frac{7}{60}$				
				$\frac{35}{50}$									
	4	A_3A_4	$\frac{4}{90}$	$\frac{2}{84}$	$\frac{0}{86}$	$\frac{3}{82}$	$\frac{5}{86}$	$\frac{8}{72}$	$\frac{10}{140}$				
										$\frac{40}{60}$			
	5	A_4A_5	$\frac{8}{80}$	$\frac{6}{75}$	$\frac{4}{60}$	$\frac{0}{135}$	$\frac{4}{60}$	$\frac{2}{55}$	$\frac{0}{90}$				
					$\frac{40}{35}$								
	6	A_5A_6	$\frac{3}{60}$	$\frac{5}{70}$	$\frac{3}{80}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{8}{70}$	$\frac{6}{85}$	$\frac{3}{90}$				
						$\frac{45}{70}$							
7	A_6A_7	$\frac{0}{150}$	$\frac{12}{85}$	$\frac{10}{75}$	$\frac{7}{90}$	$\frac{5}{80}$	$\frac{3}{80}$	$\frac{0}{70}$					
				$\frac{30}{55}$									
8	A_7A_8	$\frac{10}{80}$	$\frac{6}{90}$	$\frac{0}{140}$	$\frac{4}{80}$	$\frac{8}{60}$	$\frac{11}{90}$	$\frac{15}{100}$					
				$\frac{25}{40}$									
9	A_8A_9	$\frac{12}{50}$	$\frac{8}{75}$	$\frac{5}{85}$	$\frac{2}{90}$	$\frac{0}{60}$	$\frac{3}{60}$	$\frac{5}{90}$	$\frac{7}{100}$				
					$\frac{25}{40}$								
10	A_9A_{10}	$\frac{4}{75}$	$\frac{2}{70}$	$\frac{0}{160}$	$\frac{5}{90}$	$\frac{8}{90}$	$\frac{12}{120}$						
				$\frac{75}{100}$									
11	$A_{10}A_{11}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{6}{65}$	$\frac{3}{70}$	$\frac{0}{85}$	$\frac{5}{46}$	$\frac{10}{140}$						
					$\frac{50}{40}$								
12	$A_{11}A_{12}$	$\frac{2}{40}$	$\frac{0}{150}$	$\frac{4}{60}$	$\frac{8}{80}$	$\frac{12}{90}$	$\frac{20}{100}$						
				$\frac{50}{40}$				$\frac{30}{50}$					
$i, \%$ $l, м$ $R_{кр, м}$ $l_{кр, м}$	13	$A_{12}A_{13}$	$\frac{15}{150}$	$\frac{20}{150}$	$\frac{25}{140}$	$\frac{20}{100}$							
				$\frac{50}{40}$									

	№	Зупин. пункти	Профілі перегонів							
<i>i, ‰</i> <i>l, м</i> <i>R_{кр, м}</i> <i>l_{кр, м}</i>	14	A ₁₃ A ₁₄	20 140	24 150	22 100	20 120				
				40 40						
	15	A ₁₄ A ₁₅	18 40	16 90	13 100	10 120				
				35 30						
	16	A ₁₅ A ₁₆	6 130	0 160	4 120	0 90				
				60 30						
	17	A ₁₆ A ₁₇	0 145	8 125	6 115	0 180				
				60 35						
	18	A ₁₇ A ₁₈	10 115	0 80	6 135	4 105	0 90			
			35 55							
	19	A ₁₈ A ₁₉	12 100	18 100	22 20	14 80				
			30 45							
	20	A ₁₉ A ₂₀	8 120	0 100	6 135	4 125				
				60 40						
	21	A ₂₀ A ₂₁	8 125	6 115	4 110	6 135				
				70 50						
	22	A ₂₁ A ₂₂	5 80	7 90	0 125	5 110				
				80 60						
	23	A ₂₂ A ₂₃	4 95	6 115	8 120	0 145				
				100 60						
	24	A ₂₃ A ₂₄	0 140	6 120	3 100	0 150				
						50 150				
	25	Б ₀ Б ₁	15 150	8 120	0 110	5 90				
				50 60						
<i>i, ‰</i> <i>l, м</i> <i>R_{кр, м}</i> <i>l_{кр, м}</i>	26	Б ₁ Б ₂	0 140	10 45	14 180	0 60				
				45 40						

	№	Зупин. пункти	Профілі перегонів						
$i, \%$ $l, м$ $R_{кр}, м$ $l_{кр}, м$	27	Б ₂ Б ₃	$\frac{6}{110}$	$\frac{9}{100}$	$\frac{12}{90}$	$\frac{15}{125}$			
				$\frac{45}{60}$					
	28	Б ₃ Б ₄	$\frac{15}{125}$	$\frac{12}{125}$	$\frac{9}{100}$	$\frac{0}{140}$			
				$\frac{35}{40}$					
	29	Б ₄ Б ₅	$\frac{4}{100}$	$\frac{7}{135}$	$\frac{5}{140}$	$\frac{3}{120}$			
				$\frac{50}{65}$					
	30	Б ₅ Б ₆	$\frac{0}{90}$	$\frac{10}{110}$	$\frac{14}{125}$	$\frac{18}{100}$			
				$\frac{70}{45}$					
	31	Б ₆ Б ₇	$\frac{25}{120}$	$\frac{15}{115}$	$\frac{10}{135}$	$\frac{5}{110}$			
				$\frac{50}{40}$					
	32	Б ₇ Б ₈	$\frac{0}{75}$	$\frac{15}{60}$	$\frac{18}{90}$	$\frac{25}{100}$			
				$\frac{60}{45}$					
	33	Б ₈ Б ₉	$\frac{35}{90}$	$\frac{38}{80}$	$\frac{42}{120}$	$\frac{44}{80}$			
					$\frac{150}{100}$				
	34	Б ₉ Б ₁₀	$\frac{46}{80}$	$\frac{52}{70}$	$\frac{60}{60}$	$\frac{65}{75}$			
			$\frac{150}{70}$						
	35	Б ₁₀ Б ₁₁	$\frac{60}{140}$	$\frac{55}{160}$	$\frac{50}{125}$	$\frac{40}{80}$			
						$\frac{150}{60}$			
$i, \%$ $l, м$ $R_{кр}, м$ $l_{кр}, м$	36	Б ₁₁ Б ₁₂	$\frac{30}{100}$	$\frac{0}{120}$	$\frac{5}{110}$	$\frac{0}{135}$			
			$\frac{45}{60}$						
	37	Б ₁₂ Б ₁₃	$\frac{0}{125}$	$\frac{6}{135}$	$\frac{0}{120}$	$\frac{5}{115}$			
				$\frac{35}{50}$					
	38	Б ₁₃ Б ₁₄	$\frac{10}{125}$	$\frac{0}{130}$	$\frac{6}{110}$	$\frac{4}{90}$			
			$\frac{40}{50}$						
	39	Б ₁₄ Б ₁₅	$\frac{25}{100}$	$\frac{20}{80}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{10}{90}$			
				$\frac{80}{40}$					

	№	Зупин. пункти	Профілі перегонів							
<i>i, ‰</i> <i>l, м</i> <i>R_{кр}, м</i> <i>l_{кр}, м</i>	40	Б ₁₅ Б ₁₆	$\frac{20}{50}$	$\frac{0}{50}$	$\frac{10}{60}$	$\frac{10}{70}$	$\frac{30}{150}$	$\frac{50}{200}$		
				$\frac{40}{50}$				$\frac{70}{100}$		
	41	Б ₁₆ Б ₁₇	$\frac{40}{100}$	$\frac{45}{120}$	$\frac{55}{115}$	$\frac{30}{135}$				
					$\frac{35}{50}$					
	42	Б ₁₇ Б ₁₈	$\frac{0}{75}$	$\frac{6}{80}$	$\frac{8}{85}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{8}{90}$			
					$\frac{120}{40}$					
	43	Б ₁₈ Б ₁₉	$\frac{12}{70}$	$\frac{15}{85}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{0}{60}$				
				$\frac{30}{80}$						
	44	Б ₁₉ Б ₂₀	$\frac{0}{60}$	$\frac{15}{80}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{6}{80}$	$\frac{4}{80}$			
					$\frac{70}{50}$					
	45	Б ₂₀ Б ₂₁	$\frac{12}{120}$	$\frac{18}{100}$	$\frac{22}{100}$	$\frac{14}{90}$				
			$\frac{30}{45}$							
	46	Б ₂₁ Б ₂₂	$\frac{8}{120}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{6}{135}$	$\frac{4}{125}$				
				$\frac{60}{40}$						
	47	Б ₂₂ Б ₂₃	$\frac{8}{125}$	$\frac{6}{115}$	$\frac{4}{130}$	$\frac{6}{135}$				
				$\frac{70}{50}$						
	48	Б ₂₃ Б ₂₄	$\frac{5}{80}$	$\frac{7}{90}$	$\frac{0}{125}$	$\frac{5}{110}$				
				$\frac{80}{60}$						
<i>i, ‰</i> <i>l, м</i> <i>R_{кр}, м</i> <i>l_{кр}, м</i>	49	Б ₂₄ Б ₂₅	$\frac{4}{95}$	$\frac{6}{115}$	$\frac{8}{120}$	$\frac{0}{145}$				
				$\frac{100}{60}$						
	50	Б ₂₅ Б ₂₆	$\frac{0}{140}$	$\frac{6}{120}$	$\frac{3}{160}$	$\frac{0}{50}$				
					$\frac{50}{150}$					
	51	В ₀ В ₁	$\frac{0}{110}$	$\frac{10}{120}$	$\frac{6}{90}$	$\frac{4}{80}$	$\frac{0}{80}$			
			$\frac{50}{70}$				$\frac{80}{80}$			
	52	В ₁ В ₂	$\frac{8}{100}$	$\frac{5}{85}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{4}{110}$	$\frac{6}{95}$			
				$\frac{70}{40}$						

	№	Зупин. пункти	Профілі перегонів						
<i>i, ‰</i> <i>l, м</i> <i>R_{кр}, м</i> <i>l_{кр}, м</i>	53	В ₂ В ₃	$\frac{12}{100}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{6}{90}$	$\frac{8}{70}$	$\frac{10}{130}$		
					$\frac{100}{50}$				
	54	В ₃ В ₄	$\frac{10}{150}$	$\frac{15}{80}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{10}{90}$	$\frac{15}{80}$	$\frac{20}{70}$	$\frac{10}{100}$
			$\frac{60}{80}$		$\frac{100}{100}$			$\frac{35}{50}$	
	55	В ₄ В ₅	$\frac{15}{150}$	$\frac{20}{150}$	$\frac{25}{140}$	$\frac{20}{100}$			
				$\frac{50}{40}$					
	56	В ₅ В ₆	$\frac{20}{140}$	$\frac{24}{150}$	$\frac{22}{100}$	$\frac{20}{120}$			
				$\frac{40}{50}$					
	57	В ₆ В ₇	$\frac{18}{110}$	$\frac{16}{90}$	$\frac{13}{100}$	$\frac{10}{120}$			
				$\frac{35}{30}$					
<i>i, ‰</i> <i>l, м</i> <i>R_{кр}, м</i> <i>l_{кр}, м</i>	58	В ₇ В ₈	$\frac{0}{130}$	$\frac{10}{40}$	$\frac{12}{150}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{4}{50}$	$\frac{6}{70}$	
				$\frac{40}{40}$					
	59	В ₈ В ₉	$\frac{0}{145}$	$\frac{5}{80}$	$\frac{7}{70}$	$\frac{0}{130}$	$\frac{5}{135}$		
				$\frac{80}{50}$					
	60	В ₉ В ₁₀	$\frac{10}{120}$	$\frac{13}{90}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{6}{100}$	$\frac{8}{100}$		
			$\frac{120}{40}$						
	61	В ₁₀ В ₁₁	$\frac{6}{90}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{10}{60}$	$\frac{15}{80}$	$\frac{20}{100}$		
					$\frac{100}{40}$				
	62	В ₁₁ В ₁₂	$\frac{20}{110}$	$\frac{16}{80}$	$\frac{14}{60}$	$\frac{10}{50}$	$\frac{0}{70}$		
						$\frac{60}{50}$			

	№	Зупин. пункти	Профілі перегонів						
$i, ‰$ $l, м$	63	Г ₀ Г ₁	$\frac{0}{200}$	$\frac{10}{100}$	$\frac{20}{120}$	$\frac{15}{60}$	$\frac{13}{50}$		
	64	Г ₁ Г ₂	$\frac{15}{140}$	$\frac{12}{100}$	$\frac{9}{120}$	$\frac{7}{80}$	$\frac{5}{50}$		
	65	Г ₂ Г ₃	$\frac{7}{80}$	$\frac{11}{90}$	$\frac{15}{150}$	$\frac{10}{130}$	$\frac{6}{90}$		
	66	Г ₃ Г ₄	$\frac{3}{75}$	$\frac{0}{60}$	$\frac{7}{140}$	$\frac{15}{90}$	$\frac{25}{85}$		
	67	Г ₄ Г ₅	$\frac{15}{80}$	$\frac{11}{135}$	$\frac{6}{140}$	$\frac{0}{75}$	$\frac{4}{150}$		
	68	Г ₅ Г ₆	$\frac{6}{95}$	$\frac{9}{115}$	$\frac{13}{90}$	$\frac{8}{120}$	$\frac{0}{135}$		
	69	Г ₆ Г ₇	$\frac{6}{65}$	$\frac{10}{90}$	$\frac{16}{125}$	$\frac{20}{160}$	$\frac{15}{140}$		
	70	Г ₇ Г ₈	$\frac{8}{120}$	$\frac{3}{130}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{10}{75}$	$\frac{20}{100}$		
	71	Г ₈ Г ₉	$\frac{13}{130}$	$\frac{9}{115}$	$\frac{3}{85}$	$\frac{0}{90}$	$\frac{10}{110}$		
	72	Г ₉ Г ₁₀	$\frac{15}{120}$	$\frac{25}{110}$	$\frac{35}{90}$	$\frac{40}{75}$	$\frac{45}{60}$		
	73	Г ₁₀ Г ₁₁	$\frac{50}{135}$	$\frac{35}{110}$	$\frac{15}{90}$	$\frac{0}{60}$	$\frac{15}{140}$		
	74	Г ₁₁ Г ₁₂	$\frac{18}{180}$	$\frac{25}{160}$	$\frac{30}{90}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{0}{120}$		
	75	Г ₁₂ Г ₁₃	$\frac{0}{80}$	$\frac{10}{110}$	$\frac{15}{80}$	$\frac{11}{120}$	$\frac{18}{85}$		
	76	Г ₁₃ Г ₁₄	$\frac{12}{85}$	$\frac{6}{110}$	$\frac{0}{125}$	$\frac{10}{85}$	$\frac{15}{95}$		
	77	Г ₁₄ Г ₁₅	$\frac{0}{120}$	$\frac{20}{110}$	$\frac{40}{90}$	$\frac{60}{170}$	$\frac{40}{120}$		
	78	Г ₁₅ Г ₁₆	$\frac{20}{100}$	$\frac{15}{115}$	$\frac{7}{95}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{12}{90}$		
	79	Г ₁₆ Г ₁₇	$\frac{15}{85}$	$\frac{5}{120}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{15}{140}$	$\frac{23}{130}$		
	80	Г ₁₇ Г ₁₈	$\frac{28}{80}$	$\frac{16}{125}$	$\frac{8}{110}$	$\frac{3}{120}$	$\frac{0}{140}$		
	81	Г ₁₈ Г ₁₉	$\frac{5}{90}$	$\frac{8}{110}$	$\frac{13}{120}$	$\frac{6}{115}$	$\frac{0}{160}$		
	82	Г ₁₉ Г ₂₀	$\frac{7}{80}$	$\frac{3}{110}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{15}{120}$	$\frac{18}{75}$		
	83	Г ₂₀ Г ₂₁	$\frac{7}{115}$	$\frac{11}{95}$	$\frac{16}{135}$	$\frac{8}{160}$	$\frac{0}{85}$		
	84	Г ₂₁ Г ₂₂	$\frac{8}{125}$	$\frac{12}{115}$	$\frac{6}{75}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{7}{95}$		
	85	Г ₂₂ Г ₂₃	$\frac{12}{100}$	$\frac{7}{95}$	$\frac{0}{135}$	$\frac{9}{110}$	$\frac{14}{80}$		
	86	Г ₂₃ Г ₂₄	$\frac{18}{80}$	$\frac{13}{95}$	$\frac{6}{120}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{8}{65}$		
$i, ‰$ $l, м$	87	Г ₂₄ Г ₂₅	$\frac{8}{75}$	$\frac{12}{110}$	$\frac{16}{95}$	$\frac{11}{120}$	$\frac{0}{100}$		
	88	Г ₂₅ Г ₂₆	$\frac{15}{150}$	$\frac{10}{130}$	$\frac{5}{110}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{10}{100}$		

	№	Зупин. пункти	Профілі перегонів							
$i, ‰$ $l, м$	89	Г ₂₆ Г ₂₇	$\frac{10}{80}$	$\frac{5}{115}$	$\frac{0}{130}$	$\frac{10}{70}$	$\frac{20}{115}$			
	90	Г ₂₇ Г ₂₈	$\frac{20}{100}$	$\frac{28}{90}$	$\frac{35}{110}$	$\frac{25}{80}$	$\frac{15}{75}$			
	91	Д ₀ Д ₁	$\frac{0}{90}$	$\frac{15}{110}$	$\frac{24}{115}$	$\frac{18}{105}$	$\frac{12}{75}$			
	92	Д ₁ Д ₂	$\frac{8}{105}$	$\frac{4}{125}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{12}{90}$	$\frac{6}{85}$			
	93	Д ₂ Д ₃	$\frac{0}{95}$	$\frac{9}{115}$	$\frac{14}{90}$	$\frac{8}{140}$	$\frac{4}{150}$			
	94	Д ₃ Д ₄	$\frac{10}{125}$	$\frac{7}{95}$	$\frac{3}{80}$	$\frac{0}{170}$	$\frac{8}{80}$			
	95	Д ₄ Д ₅	$\frac{8}{90}$	$\frac{4}{110}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{15}{85}$	$\frac{25}{110}$			
	96	Д ₅ Д ₆	$\frac{15}{140}$	$\frac{11}{105}$	$\frac{6}{90}$	$\frac{0}{115}$	$\frac{8}{100}$			
	97	Д ₆ Д ₇	$\frac{6}{105}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{15}{100}$	$\frac{22}{80}$	$\frac{16}{110}$			
	98	Д ₇ Д ₈	$\frac{12}{100}$	$\frac{5}{90}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{15}{120}$	$\frac{24}{85}$			
	99	Д ₈ Д ₉	$\frac{24}{80}$	$\frac{30}{110}$	$\frac{35}{125}$	$\frac{40}{115}$	$\frac{30}{100}$			
	100	Д ₉ Д ₁₀	$\frac{20}{120}$	$\frac{10}{115}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{18}{115}$	$\frac{12}{95}$			
	101	Д ₁₀ Д ₁₁	$\frac{0}{100}$	$\frac{12}{85}$	$\frac{18}{120}$	$\frac{25}{105}$	$\frac{20}{100}$			
	102	Д ₁₁ Д ₁₂	$\frac{20}{120}$	$\frac{12}{112}$	$\frac{7}{95}$	$\frac{0}{90}$	$\frac{6}{110}$			
	103	Д ₁₂ Д ₁₃	$\frac{0}{80}$	$\frac{12}{90}$	$\frac{17}{100}$	$\frac{24}{100}$	$\frac{16}{75}$			
	104	Д ₁₃ Д ₁₄	$\frac{13}{60}$	$\frac{6}{100}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{13}{87}$	$\frac{9}{95}$			
	105	Д ₁₄ Д ₁₅	$\frac{12}{80}$	$\frac{25}{80}$	$\frac{35}{100}$	$\frac{10}{90}$	$\frac{15}{120}$			
	106	Д ₁₅ Д ₁₆	$\frac{20}{80}$	$\frac{25}{110}$	$\frac{32}{90}$	$\frac{0}{50}$	$\frac{15}{120}$			
	107	Д ₁₆ Д ₁₇	$\frac{25}{120}$	$\frac{30}{80}$	$\frac{20}{110}$	$\frac{15}{95}$	$\frac{10}{90}$			
	108	Д ₁₇ Д ₁₈	$\frac{0}{100}$	$\frac{10}{100}$	$\frac{20}{100}$	$\frac{10}{120}$	$\frac{5}{90}$			
	109	Д ₁₈ Д ₁₉	$\frac{5}{100}$	$\frac{12}{85}$	$\frac{16}{120}$	$\frac{10}{85}$	$\frac{0}{100}$			
$i, ‰$ $l, м$	110	Д ₁₉ Д ₂₀	$\frac{10}{115}$	$\frac{13}{95}$	$\frac{8}{90}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{12}{85}$			
	111	Д ₂₀ Д ₂₁	$\frac{7}{85}$	$\frac{0}{120}$	$\frac{14}{110}$	$\frac{9}{85}$	$\frac{0}{130}$			
	112	Д ₂₁ Д ₂₂	$\frac{0}{125}$	$\frac{12}{105}$	$\frac{8}{90}$	$\frac{6}{110}$	$\frac{0}{140}$			
	113	Д ₂₂ Д ₂₃	$\frac{10}{115}$	$\frac{14}{120}$	$\frac{18}{100}$	$\frac{13}{95}$	$\frac{7}{110}$			
	114	Д ₂₃ Д ₂₄	$\frac{0}{135}$	$\frac{6}{140}$	$\frac{8}{120}$	$\frac{4}{115}$	$\frac{0}{90}$			

	№	Зупин. пункти	Профілі перегонів									
$i, ‰$ $l, м$	115	Д ₂₄ Д ₂₅	$\frac{0}{75}$	$\frac{4}{125}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{11}{125}$	$\frac{6}{115}$					
	116	Д ₂₅ Д ₂₆	$\frac{14}{100}$	$\frac{20}{110}$	$\frac{25}{85}$	$\frac{15}{95}$	$\frac{0}{100}$					
	117	Д ₂₆ Д ₂₇	$\frac{17}{85}$	$\frac{14}{120}$	$\frac{22}{115}$	$\frac{14}{90}$	$\frac{6}{110}$					
	118	Д ₂₇ Д ₂₈	$\frac{0}{100}$	$\frac{9}{115}$	$\frac{4}{135}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{10}{140}$					
	119	Е ₀ Е ₁	$\frac{0}{120}$	$\frac{12}{100}$	$\frac{17}{110}$	$\frac{8}{90}$	$\frac{0}{75}$					
	120	Е ₁ Е ₂	$\frac{17}{105}$	$\frac{13}{85}$	$\frac{7}{120}$	$\frac{0}{115}$	$\frac{8}{135}$					
	121	Е ₂ Е ₃	$\frac{13}{130}$	$\frac{10}{100}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{6}{85}$	$\frac{14}{140}$					
	122	Е ₃ Е ₄	$\frac{12}{140}$	$\frac{7}{125}$	$\frac{0}{90}$	$\frac{9}{110}$	$\frac{14}{115}$					
	123	Е ₄ Е ₅	$\frac{14}{125}$	$\frac{18}{100}$	$\frac{12}{90}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{16}{110}$					
	124	Е ₅ Е ₆	$\frac{16}{120}$	$\frac{11}{115}$	$\frac{0}{90}$	$\frac{6}{95}$	$\frac{11}{110}$					
	125	Е ₆ Е ₇	$\frac{11}{100}$	$\frac{5}{105}$	$\frac{0}{120}$	$\frac{7}{95}$	$\frac{18}{115}$					
	126	Е ₇ Е ₈	$\frac{18}{125}$	$\frac{12}{115}$	$\frac{6}{85}$	$\frac{0}{80}$	$\frac{14}{140}$					
	127	Е ₈ Е ₉	$\frac{14}{160}$	$\frac{8}{90}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{9}{115}$	$\frac{15}{120}$					
	128	Е ₉ Е ₁₀	$\frac{15}{100}$	$\frac{5}{105}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{13}{130}$	$\frac{20}{120}$					
	129	Е ₁₀ Е ₁₁	$\frac{20}{100}$	$\frac{10}{100}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{15}{95}$	$\frac{25}{115}$					
	130	Е ₁₁ Е ₁₂	$\frac{0}{120}$	$\frac{13}{130}$	$\frac{5}{100}$	$\frac{7}{85}$	$\frac{16}{95}$					
	131	Е ₁₂ Е ₁₃	$\frac{15}{105}$	$\frac{6}{115}$	$\frac{0}{125}$	$\frac{18}{90}$	$\frac{12}{95}$					
	132	Е ₁₃ Е ₁₄	$\frac{12}{115}$	$\frac{7}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{9}{85}$	$\frac{12}{95}$					
	133	Е ₁₄ Е ₁₅	$\frac{12}{115}$	$\frac{8}{100}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{12}{85}$	$\frac{20}{115}$					
	134	Е ₁₅ Е ₁₆	$\frac{20}{125}$	$\frac{15}{115}$	$\frac{6}{110}$	$\frac{0}{85}$	$\frac{20}{90}$					
$i, ‰$ $l, м$	135	Е ₁₆ Е ₁₇	$\frac{20}{90}$	$\frac{10}{100}$	$\frac{0}{110}$	$\frac{10}{115}$	$\frac{18}{120}$					
	136	Е ₁₇ Е ₁₈	$\frac{15}{80}$	$\frac{13}{115}$	$\frac{7}{100}$	$\frac{0}{85}$	$\frac{22}{105}$					
	137	Е ₁₈ Е ₁₉	$\frac{22}{80}$	$\frac{12}{95}$	$\frac{0}{115}$	$\frac{6}{100}$	$\frac{13}{130}$					
	138	Е ₁₉ Е ₂₀	$\frac{13}{110}$	$\frac{5}{115}$	$\frac{0}{95}$	$\frac{8}{120}$	$\frac{16}{115}$					
	139	Е ₂₀ Е ₂₁	$\frac{16}{100}$	$\frac{10}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{13}{95}$	$\frac{18}{80}$					
	140	Е ₂₁ Е ₂₂	$\frac{18}{120}$	$\frac{11}{110}$	$\frac{5}{95}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{13}{125}$					

Профіль и план перегонів вагонів метрополітену

№	Зупиночні пункти	Профілі перегонів				
141	M ₀ M ₁	$\frac{0}{100}$	$\frac{5}{130}$	$\frac{0}{140}$	$\frac{7}{130}$	$\frac{0}{150}$
		-	-	$\frac{75}{80}$	-	-
142	M ₁ M ₂	$\frac{0}{130}$	$\frac{3}{120}$	$\frac{2}{150}$	$\frac{5}{150}$	$\frac{0}{150}$
		-	-	$\frac{50}{30}$	-	-
143	M ₂ M ₃	$\frac{0}{120}$	$\frac{5}{180}$	$\frac{0}{130}$	$\frac{4}{170}$	$\frac{0}{150}$
		-	-	-	-	-
144	M ₃ M ₄	$\frac{0}{100}$	$\frac{5}{150}$	$\frac{6}{150}$	$\frac{2}{180}$	$\frac{0}{120}$
		-	-	-	$\frac{100}{100}$	-
145	M ₄ M ₅	$\frac{0}{150}$	$\frac{3}{100}$	$\frac{0}{200}$	$\frac{2}{150}$	$\frac{0}{100}$
		-	-	$\frac{150}{100}$	-	-

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пушков П.М. Основы электрической тяги. Ч.І. Характеристики основных режимов движения поезда: Уч. пособие для студентов специальности 7.092.202 – «Электрический транспорт». – Харьков, ХГАГХ, 2001. – 187с.
2. Пушков П.М. Основы электрической тяги. Ч.ІІ. Тяговые расчеты. Частотно-регулируемый асинхронный тяговый привод. Уч. пособие для студентов специальности 7.092.202 – «Электрический транспорт». – Харьков, ХГАГХ, 2001. – 103с.
3. Основи електричної тяги. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (для студентів 3 курсу денної, 4.5 курсів заочної форм навчання спеціальності 7.092.202 – «Електричний транспорт»). – Харків: ХДАМГ, 2003.- 56с. Укл.: П.М. Пушков, О.В. Кульбашний.
4. Щуров Н.И. Теория электрической тяги: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 100с.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	3
1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ	4
1.1. Завдання і тематика	4
1.2. Послідовність виконання	4
1.3. Зміст курсової роботи і її оформлення	6
2.МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ	8
2.1. Вибір і розрахунок масштабів	8
2.2. Випрямлення профілю заданої ділянки шляху	9
2.3. Розрахунок і побудова кривих питомого основного опору руху	11
2.4. Побудова тягової характеристики потяга	13
2.5. Побудова характеристики питомої прискорюючої сили	17
2.6. Побудова характеристики питомої сповільнюючої сили при реостатному гальмуванні	18
2.7. Розрахунок і побудова характеристики питомої сили, що сповільнює, при екстреному гальмуванні	19
2.8. Розрахунок допустимої швидкості руху	20
2.9. Побудова кривої спожитого потягом струму	22
2.10. Побудова кривих руху	24
2.11. Визначення витрати енергії на рух потяга	32
2.12. Перевірка потужності двигуна способом середнього квадратичного струму	37
Додаток 1	39
Додаток 2	41
Додаток 3	42
Додаток 4	43
Додаток 5	46
Додаток 6	49
Додаток 7	51
Додаток 8	57
Додаток 9	58
Додаток 10	66
Список літератури.....	67

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Основи електричної тяги» (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 0922 (6.050702 – "Електромеханіка"))

Укладачі: доц., к. т. н. Пушков Павло Максимович

доц., к. т. н. Мінеєва Юлія Віталіївна.

Відповідальний за випуск В.Ф. Далека

Редактор О.С. Кравцова

План 2009, поз. 232-М

Підп. до друку 04.06.2009	Формат 60 x 84 1/16	Папір офісний
Друк. на ризографі	Умовн.-друк. арк. 2,7	Обл.-вид. арк. 3,0
Тираж 50 пр.	Зам. № 5135	

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №731 від 19.12.2001