

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Локомотиви»

ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ

Методичні рекомендації для виконання розрахунково-графічної роботи та
дипломного проектування

Дніпро – 2022

УДК 629.421.004

Укладачі:

Д. В. Бобирь, М. І. Капіца, В. Н. Сердюк

Рекомендовано до друку МКФ ТІ (протокол № 2 від 11.11.2021 р.)
Зареєстровано НМВ УДУНТ (реєстр. № 549 від 09.05.2022 р.)

Теорія локомотивної тяги [Текст] : методичні рекомендації для виконання розрахунково-графічної роботи та дипломного проектування / уклад.: Д. В. Бобирь, М. І. Капіца, В. Н. Сердюк; Україн. держ. ун-т науки і технол. – Дніпро, 2022. – 59 с.

Методичні рекомендації містять варіанти для виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Теорія локомотивної тяги» та методику її виконання.

Для студентів усіх форм навчання освітнього ступеня «бакалавр» за ОПП «Локомотиви та локомотивне господарство» спеціальності 273 «Залізничний транспорт».

Табл. 9. Бібліогр.: 5 назв.

- © Бобирь Д. В., Капіца М. І., Сердюк В. Н., укладання, 2022
- © УДУНТ, редагування, оригінал-макет, 2022

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
ЗМІСТ РОБОТИ ТА ВИХІДНІ ДАННІ	7
РОЗДІЛ 1 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ПІДЙОМУ	8
РОЗДІЛ 2 СПРЯМЛЕННЯ ПРОФІЛЮ КОЛІЇ	11
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК МАСИ СОСТАВА.....	14
РОЗДІЛ 4 ПЕРЕВІРКА РОЗРАХУНКОВОЇ МАСИ СОСТАВА НА МОЖЛИВІСТЬ НАДІЙНОГО ПОДОЛАННЯ КОРОТКОГО ПІДЙОМУ КРУТИЗНОЮ БІЛЬШЕ РОЗРАХУНКОВОГО.....	16
РОЗДІЛ 5 ПЕРЕВІРКА РОЗРАХОВАНОЇ МАСИ СОСТАВА НА ЗРУШЕННЯ З МІСЦЯ НА РОЗДІЛЬНИХ ПУНКТАХ.....	18
РОЗДІЛ 6 ПЕРЕВІРКА МАСИ СОСТАВА ЗА ДОВЖИНОЮ ПРИЙМАЛЬНО-ВІДПРАВНИХ КОЛІЙ	19
РОЗДІЛ 7 ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ПИТОМИХ РІВНОДІЮЧИХ СИЛ	21
РОЗДІЛ 8 РІШЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ЗАДАЧІ	25
РОЗДІЛ 9 ПОБУДОВА КРИВИХ ШВИДКОСТІ, ЧАСУ ХОДУ ПОЇЗДА ТА СТРУМУ	30
РОЗДІЛ 10 ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ХОДУ ПОЇЗДА ПО ПЕРЕГОНАХ.....	33
РОЗДІЛ 11 ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ХОДУ ПОЇЗДА МЕТОДОМ РІВНОМІРНИХ ШВИДКОСТЕЙ.....	34
РОЗДІЛ 12 ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЛОКОМОТИВА НА НАГРІВАННЯ	35
РОЗДІЛ 13 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ЛОКОМОТИВОМ	36
РОЗДІЛ 14 ПОБУДОВА ТОННО-КІЛОМЕТРОВОЇ ДІАГРАМИ.....	39
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	41
ДОДАТОК А ПРОФІЛІ ДО ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ	42
ДОДАТОК Б ПРИКЛАДИ ПОБУДОВИ КРИВОЇ ШВИДКОСТІ	58

ПЕРЕДМОВА

Під час розробки проектів нових залізниць, переводі існуючих ліній на електричну тягу та під час експлуатації доводиться вирішувати цілу низку питань, пов'язаних з рухом поїздів. Ці питання є предметом тягових розраху-

нків. Задачею розрахунків з тяги поїздів є не лише закріплення отриманих знань в цій області, але й формування у студентів вміння самостійно вирішувати питання, пов'язані із найбільш раціональним використанням потужності локомотивів.

Метою методичних рекомендацій є досягнення компетентностей, передбачених освітньо-професійною програмою (ОПП), а саме:

- дотримуватися у професійній діяльності вимог нормативно-правових, законодавчих актів України, Правил технічної експлуатації залізниць України, інструкцій та рекомендацій з експлуатації, ремонту та обслуговування об'єктів залізничного транспорту та їх систем;

- розрізняти типи та серії локомотивів, їх системи, агрегати та вузли з визначенням вимог до їхньої конструкції, параметрам та характеристикам;

- аналізувати техніко-економічні та експлуатаційні показники локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів з метою виявлення та усунення негативних чинників та підвищення ефективності виробничого процесу.

За робочою програмою освітньої компоненти методичні рекомендації сприяють досягненню таких результатів навчання:

- дотримуватися у професійній діяльності вимог нормативно-правових та законодавчих актів України у сфері залізничного транспорту, Правил технічної експлуатації залізниць України, інструкцій та рекомендацій з експлуатації, ремонту та обслуговування локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів;

- ідентифікувати типи та серії локомотивів, їх системи, агрегати, вузли та вимоги до їх характеристик та параметрів;

- виконувати розрахунок основних характеристик та параметрів технологічних процесів виробництва, експлуатації та ремонту локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів з метою їх порівняння та формування управлінських рішень щодо подальшого функціонування підприємства з оцінкою якості його продукції;

- розраховувати техніко-економічні та експлуатаційні показники локомотивів, їх систем, агрегатів та вузлів.

Розрахунково-графічну роботу необхідно виконувати, обдуманно застосовуючи розрахункові формули та ретельно перевіряючи висновки й результати. Цілковито недопустимо механічне застосування формул і виконання по них розрахунків. Дані методичні рекомендації не звільняють студента від необхідності глибоко та уважно розібратися в питаннях, що розглядаються, використовуючи рекомендовану літературу.

Тягові розрахунки проводяться на основі «Правил тягових розрахунків для поїзної роботи» (ПТР) [1–3], що визначають порядок і методику розв'язання задач і містять основні характеристики локомотивів, вагонів і інші нормативні дані, які є вихідними для розрахунків.

Під час виконання розрахунково-графічної роботи необхідно дотримуватись наступних положень:

1. Робота повинна бути виконана в зошиті, складеному зі стандартних листів писального паперу (розміром 210×297 мм) з обов'язковим залишенням полів для зауважень рецензента; на обкладинці зошита необхідно вказати дисципліну, курс, прізвище, ініціали і шифр студента, а також рік видання задання, у відповідності з яким вона виконується.

2. Робота повинна бути надрукована або написана акуратно, розбірливим почерком, без скорочення слів.

3. Вихідні дані повинні бути обов'язково приведені на початку роботи.

4. Розрахунки необхідно супроводжувати поясненнями. Розрахункові формули слід приводити спочатку в загальному вигляді із застосуванням прийнятих буквених позначень, після чого підставити в формулу числові значення величин і проставити результат.

Приклад:

$$\omega''_0 = \alpha\omega''_{04} + \beta\omega''_{06} + \gamma\omega''_{08} = 0,8 \cdot 1,2 + 0,05 \cdot 1,4 + 0,15 \cdot 1,17 = 1,21 \text{ Н/кН.}$$

Необхідно вказати, що являють собою величини, які входять у формулу, обов'язково проставляючи для іменованих величин їхні одиниці виміру.

5. При виборі розрахункових величин і параметрів, використанні таблиць, формул, довідкових матеріалів потрібно посилатися на джерела; список використаної літератури (автор, назва книги, місце та рік видання) слід привести в кінці роботи.

6. Матеріал потрібно викладати з дотриманням прийнятої в технічній літературі термінології.

Точність обчислень до 1 % є достатньою при розрахунках.

7. Графічна частина роботи виконується на міліметровому папері.

При зображенні графічних залежностей варто:

а) на кожному графіку мати нульову абсцису і нульову ординату;
б) графічні залежності викреслювати акуратно, гостро заструганим олівцем;

в) осі координат виділяти більш товстою лінією;

г) на осях координат проставляти буквені позначення величин, що відкладаються, і їхні одиниці виміру;

д) на осях координат нанести числові шкали у відповідності з прийнятими масштабами зображення величин. Масштаби приводять на графіках у правому верхньому куті.

При побудові графічних залежностей на міліметровому папері потрібно вибрати початок координат у точці перетину жирних ліній; круглі значення числових шкал на осях координат бажано ставити навпроти більш жирних ліній сітки.

8. Таблиці і графіки необхідно укласти до зошиту так само, як і сторінки з текстом, в корінець зошита, не повертаючи їх на 90°, щоб ними було зручно користуватися (не варто приклеювати графіки і таблиці до полів сторінок).

Вкладати графіки і таблиці в зошит потрібно відразу ж за тією сторінкою, де є перше посилання на них.

9. Сторінки роботи, ілюстрації, таблиці і графіки повинні бути пронумеровані. Таблиці повинні мати найменування, ілюстрації і графіки – підписунокві підписи.

10. Роботу потрібно підписати і вказати дату її виконання.

Якщо робота не зарахована, потрібно в найкоротший термін виконати вимоги рецензента та надати виправлену роботу для повторної перевірки. При цьому не варто переписувати роботу цілком або окремі її розділи; не можна також робити виправлення по написаному тексту; всі виправлення і доповнення повинні бути зроблені на окремих листах і вклеєні або вшиті у відповідні місця роботи. Витирати і закреслювати зауваження рецензента забороняється. Виконавши будь-яке виправлення і отримавши новий числовий результат, варто, якщо це потрібно, внести відповідні поправки в подальші розрахунки.

Розрахунково графічна робота, в якій не дотримані викладені вище положення, а також робота, що виконана студентом не за своїм варіантом, не рецензується.

Точність обчислень при виконанні розрахунків повинна у відповідності з ПТР прийматися:

- для мас составів (вантажних) – з округленням до 50 т;
- для сил, що діють на поїзд (сили тяги, опору, гальмівні) – з округленням до 50 Н;
- для крутизни ухилів при вимірюванні в тисячних (промилле, ‰) – з одним знаком після коми;
- для питомих сил при вимірюванні в Н/кН – з двома знаками після коми;
- для відстаней при вимірюванні в метрах (для елементів профілю) і в кілометрах (для перегонів) – з одним знаком після коми;
- для швидкостей при вимірюванні в км/год – з одним знаком після коми;
- для витрат палива – з округленням до 10 кг;
- для питомих витрат палива – з округленням до 0,1 кг/10⁴ ткм;
- для струмів – з округленням до 5 А;
- для витрат електроенергії – з округленням до 10 кВт·год;
- для питомих витрат електроенергії при вимірюванні в кВт·год/ткм – з одним знаком після коми;
- для перегінних часів ходу – розрахункове до 0,1 хв, для графіка руху поїздів – з округленням до 1 хв.

На початку роботи після вихідних даних необхідно привести основні характеристики локомотива.

Основними характеристиками, що використовують при тягових розрахунках, є тягова характеристика локомотива, струмова характеристика локомотива або тягових електричних машин та теплові характеристики тягових електродвигунів (тягового генератора).

Тяговою характеристикою локомотива називають залежність дотичної сили тяги локомотива від його швидкості $F_d = f(V)$. Тягові характеристики всіх локомотивів, що використовуються на залізниці, наведено в [1–3].

Струмова характеристика являє собою залежність сили струму робочих обмоток тягових машин або локомотива в цілому від швидкості $I_r = f(V)$. Ці характеристики також приведено в [1–3].

До теплових характеристик відносять залежності температури перегріву обмоток тягових машин τ_∞ та теплової сталої часу T від сили струму. Теплові характеристики наводяться в [1–3]. Для електровозів значення теплової сталої часу T є постійним для всього робочого діапазону зміни сили струму.

Всі перелічені характеристики необхідно акуратно накреслити на міліметровому папері і привести на початку роботи.

Перевірену роботу з виправленнями і доповненнями, зробленими на вимогу рецензента, потрібно зберігати, оскільки її необхідно захистити.

ЗМІСТ РОБОТИ ТА ВИХІДНІ ДАННІ

У розрахунково-графічній роботі необхідно:

1. Провести аналіз профілю колії і встановити величину розрахункового підйому.
2. Спрямити профіль колії.
3. Визначити масу состава за вибраним розрахунковим підйомом.
4. Перевірити отриману масу складу на проходження зустрічних підйомів більшої крутизни, ніж розрахунковий підйом, з урахуванням використання накопиченої кінетичної енергії.
5. Перевірити можливість рушання поїзда з місця у разі зупинки на роздільних пунктах (станціях).
6. Виконати перевірку маси состава за довжиною приймально-відправних колій роздільних пунктів заданої ділянки.
7. Скласти таблицю та побудувати діаграми питомих рівнодіючих (прискорювальних і уповільнювальних) сил.
8. Визначити максимально допустиму швидкість руху на найбільш крутому схилу ділянки при заданих гальмівних засобах поїзда.
9. Побудувати криві швидкості, часу та струму.
10. Визначити час ходу по перегонах і технічну швидкість руху поїзда по ділянці.
11. Розрахувати час ходу поїзда по ділянці методом рівномірних швидкостей.
12. Виконати перевірку електричних машин локомотива на нагрівання.
13. Визначити витрати електроенергії – для електровоза, дизельного палива – для тепловоза.

14. Побудувати тонно-кілометрову діаграму.

Вихідні дані вибираються за табл. 1Т, 1Е, а профіль ділянки – з додатка А (за узгодженням з викладачем). Ці дані, а також розрахункові параметри заданого локомотива, обов'язково приводяться на початку роботи.

РОЗДІЛ 1

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ПІДЙОМУ

Розрахунковий підйом – це найбільш важкий для руху в даному напрямку елемент, на якому при наявній масі складу досягається розрахункова швидкість і відповідна розрахункова сила тяги локомотива. Розрахунковий підйом – один з основних параметрів, що визначають масу складу, яка може бути перевезена по ділянці при заданих умовах.

Визначенню розрахункового підйому повинен передувати аналіз повздовжнього профілю колії. При аналізі необхідно виявити достатньо крутий і, в той же час, довгий елемент профілю, який не можна буде подолати за рахунок накопиченої, в першу чергу на спусках, кінетичної енергії на швидкості, що дорівнює або більша за розрахункову.

Слід зазначити, що розрахунковий підйом не обов'язково є найбільш крутим. Якщо на ділянці є підйом, крутіший за розрахунковий, але який має невелику протяжність і перед ним розташовані «легкі» елементи профілю (спуски, площадки), де поїзд може розвинути велику швидкість, то навіть при умові вповільнення на даному підйомі його швидкість може не досягнути розрахункової. У такому разі підйом необхідно вважати швидкісним.

Правильне визначення розрахункового, а також швидкісного підйомів має важливе значення для повного використання тягових можливостей локомотива, провізної та пропускнує спроможності заданої ділянки. Якщо помилково за розрахунковий прийняти підйом, що є за своїми властивостями швидкісним, то в такому разі буде зменшено масу складу, яку можна провезти по ділянці, збільшено питомі витрати енергоресурсів на перевезення. У зворотному випадку, при неправильному прогнозуванні накопичення достатньої кількості кінетичної енергії перед початком руху по швидкісному підйому, розрахована маса складу буде надто великою і швидкість на такому підйомі буде менша за розрахункову.

Таблиця 1Т

Вихідні дані для тепловозної тяги

Найменування параметра	Варіант (остання цифра шифру або порядковий номер по журналу)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Серія тепловоза	2М62	ТЕЗЗАС	ЗТЭЗ	ТЭЗЗ	2ТЭ116	ЗТЭ10М	2ТЭ10В	2ТЭ10М	2ТЭ10М	2М62
Склад поїзда в % за масою:										
– 8-вісних вагонів	18	15	15	16	18	16	10	16	12	16
– 6-вісних вагонів	–	2	1	–	–	–	–	1	–	4
– 4-вісних вагонів	82	83	84	84	82	84	90	83	88	80
Маса вагонів бруutto, т:										
– 8-вісних	166	168	168	168	166	164	168	168	164	168
– 6-вісних	–	124	126	–	–	–	–	128	–	126
– 4-вісних	88	86	88	88	88	88	88	86	88	86
Гальмівних осей в складі поїзда, %	97	98	96	97	97	98	98	97	96	97
Довжина приймально-відправних колій $l_{\text{пвід}}$, м	850	1250	1050	850	1250	1550	1550	1250	1250	850
Гальмівні колодки			чавунні						композиційні	

Примітка. 8- і 6-вісні вагони на підшипниках кочення; 95 % 4-вісних вагонів на підшипниках кочення; 5 % – на підшипниках ковзання.

Вихідні дані для електровозної тяги

Найменування параметра	Варіант (остання цифра шифру або порядковий номер по журналу)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Серія електровоза	ВЛ8	ВЛ10	ВЛ11	ВЛ11	ВЛ11	ВЛ60 ^к	ВЛ80 ^т	2ЕС5К	ВЛ82	ВЛ80 ^р
Склад поїзда в % за масою:						(3 секц.)			(пост.)	
– 8-вісних вагонів	15	16	15	9	17	16	8	9	11	15
– 6-вісних вагонів	5	6	–	1	–	–	–	1	–	3
– 4-вісних вагонів	80	78	85	90	83	84	92	90	89	82
Маса вагонів бруutto, т:										
– 8-вісних	166	168	164	168	166	164	168	164	164	168
– 6-вісних	124	124	–	126	–	–	–	126	–	126
– 4-вісних	88	84	86	88	86	88	88	86	88	84
	–	–	84	82	82	86	82	–	84	–
Гальмівних осей в складі поїзда, %	94	97	96	96	97	98	98	96	96	98
Довжина приймально-відправних колій	1050	1050	1250	850	1250	1550	1550	1050	1550	1250
$l_{\text{пвд}}$, м										
Гальмівні колодки				чавунні					композиційні	

Примітка. 8- і 6-вісні вагони на підшипниках кочення; 95 % 4-вісних вагонів на підшипниках кочення; 5 % – на підшипниках ковзання. Якщо в вихідних даних передбачена різна маса бруutto 4-вісних вагонів, то вважаємо, що підшипники ковзання мають тільки вагони з меншою масою.

СПРЯМЛЕННЯ ПРОФІЛЮ КОЛІЇ

Для спрощення тягових розрахунків, а також для скорочення їх об'єму і відповідно часу на їхнє виконання необхідно спрямити профіль колії.

Спрявлення профілю полягає в заміні двох або кількох суміжних елементів поздовжнього профілю колії одним елементом, довжина якого S_c дорівнює сумі довжин елементів, що спрямляються S_1, S_2, \dots, S_n , тобто

$$S_c = S_1 + S_2 + \dots + S_n, \quad (1)$$

а крутизна i'_c розраховується за формулою:

$$i'_c = \frac{i_1 S_1 + i_2 S_2 + \dots + i_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (2)$$

де i_1, i_2, \dots, i_n – крутизна елементів ділянки, що спрямляється, ‰.

Щоб розрахунки швидкості та часу руху поїзда по ділянки були достатньо точними, необхідно виконати перевірку можливості спрявлення групи елементів профілю за формулою:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}, \quad (3)$$

де S_i – довжина елемента, що спрямляється, м;

Δi – абсолютна величина різниці між ухилом спрявленої ділянки та ухилом елемента, що перевіряється, ‰, тобто $\left| i'_c - i_i \right|$.

Перевірці за формулою (3) підлягає кожний елемент групи, що спрямляється. Чим коротші елементи групи, яка спрямляється, і чим ближче вони за крутизною, тим більш вірогідно, що перевірка їх на задоволення умови (3) виявиться додатною.

При однаковій крутизні елемента спрявленої ділянки та реального профілю, тобто коли $\Delta i = 0$, перевірка за формулою (3) не проводиться, тому що в цьому разі забезпечується максимальна (нескінченна) точність розрахунків за спрявленим профілем.

Криві на спрявленій ділянки замінюються фіктивним підйомом, крутизна якого визначається за формулою:

$$i_c'' = \frac{700}{S_c} \sum_{i=1}^n \frac{S_{кр_i}}{R_i}, \quad (4)$$

де $S_{кр_i}$ і R_i – довжина і радіус кривих спрямленої ділянки, м.

Крутизна спрямленої ділянки з урахуванням фіктивного підйому від кривої

$$i_c = i_c' + i_c''. \quad (5)$$

Необхідно відзначити, що знак крутизни ухилу i_c' може бути і додатним (для підйому) і від'ємним (для спусків); знак крутизни фіктивного підйому від кривої i_c'' завжди додатний. Тобто на підйомі крутизна спрямленої ділянки, визначена за формулою (5), буде більшою, а на спуску меншою за i_c' . Це необхідно враховувати при обчисленнях.

Об'єднувати в групу для спрямлення варто лише близькі за крутизною елементи профілю одного знаку. Горизонтальні елементи (площадки) можуть включатися в групи, що спрямляються, як з елементами, які мають додатний знак крутизни, так і з елементами від'ємної крутизни. Елементи, на яких розташовані роздільні пункти, не спрямляються.

Не включають в групи елементів, що підлягають спрямленню, розрахунковий підйом, а також швидкісний підйом, тому що такі дії можуть внести похибку під час визначення маси состава та розрахунку часу руху поїзда. Спрямлений профіль повинен зберегти характерні особливості дійсного профілю.

Результати розрахунків по спрямленню заданого профілю колії записуються за формою табл. 2.

У стовпчики 1–5 таблиці заносяться параметри всіх елементів заданого профілю колії, взяті з відповідної таблиці додатка А. Якщо елемент заданого профілю не спрямляється, то він переноситься на спрямлений профіль (враховується фіктивний підйом від кривої, якщо вона є). Ділянки спрямленого профілю варто розділити горизонтальними лініями (від стовпчика 6 до стовпчика 10). Знизу таблиці, під третім стовпчиком варто вказати довжину заданої ділянки колії.

Порядок виконання та оформлення розрахунків по спрямленню елементів профілю колії наведено у наступному прикладі.

Маємо елементи профілю колії: № 5, 6, 7 з параметрами:

$$i_5 = -4,5 \text{ ‰}, S_5 = 500 \text{ м}, R_5 = 700 \text{ м}, S_{кр5} = 450 \text{ м};$$

$$i_7 = 0,0 \text{ ‰}, S_7 = 490 \text{ м}.$$

Перевіримо можливість спрямлення цих трьох суміжних елементів.

Результати спрямлення профілю ділянки

Номер елемента	Крутизна елемента i , ‰	Довжина елемента S , м	Криві		Довжина спрямленої ділянки S_c , м	Крутизна спрямленої ділянки i'_c , ‰	Фіктивний підйом від кривих i''_c , ‰	Сумарна крутизна спрямленої ділянки $i_c = i'_c + i''_c$, ‰		Номер спрямленої ділянки	Станція
			R , м	$S_{кр}$, м				туди	звідти		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1500	–	–	1500	0	0			1	А
2	–4,5	500	700	450							
3	–5,5	1200	1000	500	2190	–4,02	0,38	–3,64	+4,4	2	
4	0,0	490									
5	9,0	2900	650	500	2900	9,00	0,10	9,10	–8,9	3	

Довжина ділянки $\sum S_i = \dots$

$$S_c = 500 + 1200 + 490 = 2190 \text{ м};$$

$$i'_c = \frac{(-4,5) \cdot 500 + (-5,5) \cdot 1200 + 0 \cdot 490}{2190} = -4,02 \text{ ‰};$$

$$\Delta i_5 = \left| -4,02 - (-4,5) \right| = 0,48 \text{ ‰};$$

$$\Delta i_6 = \left| -4,02 - (-5,5) \right| = 1,48 \text{ ‰};$$

$$\Delta i_7 = \left| -4,02 - 0 \right| = 4,02 \text{ ‰};$$

$$S_5 = 500 \text{ м} < \frac{2000}{0,48} = 4167 \text{ м} - \text{задовольняє нерівності (3);}$$

$$S_6 = 1200 \text{ м} < \frac{2000}{1,48} = 1352 \text{ м} - \text{задовольняє нерівності (3);}$$

$$S_7 = 490 \text{ м} < \frac{2000}{4,02} = 498 \text{ м} - \text{задовольняє нерівності (3).}$$

Всі елементи профілю задовольняють умову, що виражена нерівністю (3), значить, їхнє спрямлення допустиме.

Фіктивний підйом від кривих

$$i_c'' = \frac{700}{2190} \left(\frac{450}{700} + \frac{500}{1000} \right) = 0,38 \text{ ‰}.$$

Сумарна крутизна спрямленої ділянки

$$i_c = -4,02 + 0,38 = -3,64 \text{ ‰}.$$

Параметри спрямленої ділянки

$$i_c = -3,64 \text{ ‰}.$$

Розрахунки по спрямленню групи елементів профілю приводяться лише для випадків, коли спрямлення допускається, тобто коли результати перевірки на задоволення умови (3) додатні.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК МАСИ СОСТАВА

Маса состава – один з найважливіших показників роботи залізничного транспорту. Збільшення маси составів дозволяє підвищити перевізну спроможність залізничних ліній, зменшити витрату пального та електричної енергії, знизити собівартість перевезень. Тому масу вантажного состава визначають, виходячи з повного використання тягових якостей локомотива.

Для вибраного розрахункового підйому масу состава в тонах розраховують за формулою:

$$Q = \frac{F_{др} - (\omega_0' + i_p) \cdot P \cdot g}{(\omega_0'' + i_p) \cdot g}, \quad (6)$$

де $F_{др}$ – розрахункова сила тяги локомотива, Н;

- P – розрахункова маса локомотива, т;
- ω'_0 – основний питомий опір локомотива, Н/кН;
- ω''_0 – основний питомий опір состава, Н/кН;
- i_p – крутизна розрахункового підйому, ‰;
- g – прискорення вільного падіння; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Під час розрахунку маси состава величини ω'_0 і ω''_0 визначають для розрахункової швидкості локомотива V_p . Питомі сили відносять до 1 кН ваги поїзда, состава, вагона, локомотива.

Розрахункова швидкість, розрахункова сила тяги, маса локомотива та інші розрахункові нормативи приведені в [1–3].

Основний питомий опір локомотива (Н/кН) в залежності від швидкості на режимі тяги (під час руху під струмом) визначають за графіками $\omega'_0 = f(V)$, які приведені в [1–3]. Основний питомий опір локомотивів, для яких графічні залежності $\omega''_0 = f(V)$ відсутні, слід визначати за формулою:

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V + 0,0003 \cdot V^2. \quad (7)$$

Основний питомий опір складу (Н/кН) визначають за формулою:

$$\omega''_0 = \alpha \omega''_{04} + \beta \omega''_{06} + \gamma \omega''_{08}, \quad (8)$$

де α, β, γ – відповідно частки (не ‰!) 4- 6- і 8-вісних вагонів в складі за масою (див. табл. 1Т, 1Е);

ω''_{04} – основний питомий опір 4-вісних вантажних вагонів, Н/кН.

– на підшипниках ковзання

$$\omega''_{04\text{ков}} = 0,7 + \frac{8 + 0,1 \cdot V + 0,0025 \cdot V^2}{q_{04}}, \quad (9)$$

– на роликових підшипниках

$$\omega''_{04\text{коч}} = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot V + 0,0025 \cdot V^2}{q_{04}}, \quad (10)$$

у нашому випадку (див. примітку до табл. 1Т, 1Е)

$$\omega''_{04} = 0,95 \cdot \omega''_{04\text{коч}} + 0,05 \cdot \omega''_{04\text{ков}}. \quad (11)$$

У разі наявності різної маси брутто 4-вісних вагонів необхідно розрахувати основний питомий опір для вагонів кожної маси з підшипниками кочення за формулою (9), а потім, враховуючи частки вагонів з цими масами, одержати середній питомий опір 4-вісних вагонів з цим типом підшипників:

– ω''_{06} – основний питомий опір 6-вісних вантажних вагонів, Н/кН,

$$\omega''_{06} = 0,7 + \frac{8 + 0,1 \cdot V + 0,0025 \cdot V^2}{q_{06}}, \quad (12)$$

– ω''_{08} – основний питомий опір 8-вісних вантажних вагонів, Н/кН,

$$\omega''_{08} = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot V + 0,0021 \cdot V^2}{q_{08}}, \quad (13)$$

де q_{04}, q_{06}, q_{08} – маса, яка приходить на одну колісну пару відповідно 4-, 6- і 8-вісного вагона, т/вісь;

$$q_{04} = \frac{g_4}{4}; \quad q_{06} = \frac{g_6}{6}; \quad q_{08} = \frac{g_8}{8}, \quad (14)$$

де g_4, g_6, g_8 – маса брутто відповідно 4-, 6- і 8-вісного вагона, т, (див. табл. 1Т, 1Е).

Для 4-вісних вагонів з різною масою брутто необхідно одержати два значення q_{04} .

Підраховану за формулою (6) масу складу потрібно у відповідності з [2] округлити до 50 або 100 т.

РОЗДІЛ 4

ПЕРЕВІРКА РОЗРАХУНКОВОЇ МАСИ СОСТАВА НА МОЖЛИВІСТЬ НАДІЙНОГО ПОДОЛАННЯ КОРОТКОГО ПІДЙОМУ КРУТИЗНОЮ БІЛЬШЕ РОЗРАХУНКОВОГО

Перевірка на можливість подолання «швидкісного» підйому з урахуванням використання кінетичної енергії, накопиченої на попередній «легких» елементах профілю, виконується аналітичним методом. При цьому приймають гіпотезу про рівноуповільнений рух поїзда в інтервалі швидкості $\Delta V \leq 10$ км/год і використовують розрахункове співвідношення

$$S = \frac{4,17 \left(V_{\text{к}}^2 - V_{\text{н}}^2 \right)}{f_{\text{дсер}} - \omega_{0\text{сер}}}, \quad (15)$$

де $V_{\text{н}}$ – швидкість на початку інтервалу швидкості ΔV ; початкова швидкість для першого інтервалу вибирається з умов підходу до елемента підйому, який перевіряється $i_{\text{пер}}$ (для вантажних поїздів можна приймати $V_{\text{н}} = 70 \dots 90$ км/год та не вище конструкційної швидкості заданого локомотива);

$V_{\text{к}}$ – швидкість в кінці інтервалу швидкості ΔV , км/год.

Розрахунок пройденого шляху за формулою (15) ведуть до тих пір, поки кінцева швидкість останнього інтервалу не буде дорівнювати розрахунковій, тобто $V_{\text{к}} = V_{\text{р}}$.

Питому силу тяги $f_{\text{дсер}}$ і питомий опір $\omega_{0\text{сер}}$ в межах вибраного інтервалу зміни швидкостей ΔV приймають рівними їхнім значенням за середній швидкості інтервалу, який розглядається

$$V_{\text{сер}} = \frac{V_{\text{н}} + V_{\text{к}}}{2}. \quad (16)$$

Ці питомі сили вираховують за формулами в Н/кН:

$$f_{\text{дсер}} = \frac{F_{\text{дсер}}}{(P + Q)g}; \quad (17)$$

$$\omega_{0\text{сер}} = \frac{\left(\omega'_{0\text{сер}} + i_{\text{пер}} \right) P \cdot g + \left(\omega''_{0\text{сер}} + i_{\text{пер}} \right) Q \cdot g}{(P + Q)g}. \quad (18)$$

Значення сили тяги локомотива $F_{\text{дсер}}$ для середньої швидкості $V_{\text{сер}}$ визначають за тяговою характеристикою локомотива. Для тієї ж середньої швидкості визначають основний питомий опір $\omega'_{0\text{сер}}$ локомотива за графіками в [3] або за формулою (7) і основний питомий опір $\omega''_{0\text{сер}}$ складу за формулою (8) з використанням формул (9–14).

Якщо сума отриманих за формулою (15) відстаней, пройдених поїздом у відповідних інтервалах швидкостей ΔV , більша або рівна довжині підйому

$S_{\text{пер}}$, тобто

$$S \geq S_{\text{пер}}, \quad (19)$$

то на цьому перевірці закінчується і робиться висновок про те, що за розраховану масу состава Q поїзд надійно подолає підйом, що перевіряється, крутизною більше розрахункового, з урахуванням використання накопиченої до початку елемента кінетичної енергії. Якщо ж шлях S , який може бути пройдений за рахунок розгону, виявиться коротшим за довжину підйому, що перевіряється $S_{\text{пер}}$, то необхідно зменшити масу складу (для початку, наприклад, на 100 т). У цьому разі всі розрахунки по даній перевірці повторюються спочатку. Зменшення маси состава та наступний перевірючий розрахунок варто робити до тих пір, поки не буде виконуватись умова (19).

РОЗДІЛ 5

ПЕРЕВІРКА РОЗРАХОВАНОЇ МАСИ СОСТАВА НА ЗРУШЕННЯ З МІСЦЯ НА РОЗДІЛЬНИХ ПУНКТАХ

Така перевірка виконується за формулою

$$Q_{\text{зруш}} = \frac{F_{\text{д зруш}}}{\left(\omega_{\text{зруш}} + i_{\text{зруш}} \right) g} - P, \quad (20)$$

де $F_{\text{д зруш}}$ – сила тяги локомотива при зрушенні з місця, Н;

$i_{\text{зруш}}$ – крутизна найбільш важкого елемента на роздільних пунктах (станціях) заданої ділянки, ‰ (у напрямку руху);

$\omega_{\text{зруш}}$ – питомий опір поїзда при зрушенні з місця (на площадці), Н/кН.

$$\omega_{\text{зруш}} = \alpha \left(\delta \omega_{\text{зруш 4}}^{\text{коч}} + \varepsilon \omega_{\text{зруш 4}}^{\text{ков}} \right) + \beta \omega_{\text{зруш 6}}^{\text{коч}} + \gamma \omega_{\text{зруш 8}}^{\text{коч}}, \quad (21)$$

де $\omega_{\text{зруш 4}}^{\text{коч}}$ і $\omega_{\text{зруш 4}}^{\text{ков}}$ – питомі опори при зрушенні з місця відповідно для 4-вісних вагонів на підшипниках кочення і на підшипниках ковзання, Н/кН;

δ і ε – відповідно частки (не ‰) 4-вісних вагонів з підшипниками кочення і підшипниками ковзання; можна прийняти $\delta = 0,95$ та $\varepsilon = 0,05$ (див. табл. 1Т, 1Е).

Для вагонів на підшипниках кочення

$$\omega_{\text{руш}}^{\text{коч}} = \frac{28}{q_0 + 7}. \quad (21a)$$

Для вагонів на підшипниках ковзання

$$\omega_{\text{руш}}^{\text{ков}} = \frac{142}{q_0 + 7}, \quad (21б)$$

де q_0 – маса в тонах, що приходить на одну колісну пару для даної групи вагонів (під час розрахунку значень $\omega_{\text{руш}4}^{\text{коч}}$, $\omega_{\text{руш}4}^{\text{ков}}$, $\omega_{\text{руш}6}^{\text{коч}}$ і $\omega_{\text{руш}8}^{\text{коч}}$ підставляються величини q_0 , отримані раніше за формулами (9)), т.

Для 4-вісних вагонів необхідно одержати середнє значення питомого опору під час зрушення з місця з урахуванням часток вагонів з відповідним осьовим навантаженням.

Маса состава $Q_{\text{руш}}$, отримана за умовою зрушення з місця, повинна бути не менше маси состава Q , визначеної за розрахунковим підйомом, тобто повинна виконуватись умова $Q_{\text{руш}} \geq Q$ (див. розділ 2.). Оскільки для перевірки маси состава на зрушення з місця була вибрана станція, розташована на найбільш важкому елементі, то в цьому випадку робиться висновок про те, що зрушення составу з місця та розгін поїзда забезпечені на всіх роздільних пунктах ділянки.

РОЗДІЛ 6

ПЕРЕВІРКА МАСИ СОСТАВА ЗА ДОВЖИНОЮ ПРИЙМАЛЬНО-ВІДПРАВНИХ КОЛІЙ

Щоб виконати перевірку маси состава за довжиною приймально-відправних колій, необхідно визначити кількість вагонів у составі, довжину поїзда і зіставити її з заданою довжиною приймально-відправних колій станції $l_{\text{пвід}}$.

Число вагонів у складі вантажного поїзда:

а) 4-вісних

$$m_4 = \frac{\alpha Q}{g_4}. \quad (22)$$

За наявністю 4-вісних вагонів з різною масою бруто необхідно попередньо визначити усереднену масу бруто з урахуванням частки 4-вісних вагонів із кожною масою;

б) 6-вісних

$$m_6 = \frac{\beta Q}{g_4}, \quad (23)$$

в) 8-вісних

$$m_8 = \frac{\gamma Q}{g_4}. \quad (24)$$

Отримані кількості вагонів необхідно округлити до цілих числових значень.

Довжини вагонів приймаються рівними: 4-вісного – 15 м, 6-вісного – 17 м, 8-вісного – 20 м. Загальна довжина поїзда

$$l_{\text{п}} = 20m_8 + 17m_6 + 15m_4 + l_{\text{л}} + 10, \quad (25)$$

де $l_{\text{л}}$ – довжина локомотива, наведено в [1–3], м;

10 м – запас довжини на неточність встановлення поїзда.

Перевірка можливості встановлення поїзда на приймально-відправних коліях виконується за співвідношенням

$$l_{\text{п}} \leq l_{\text{пвід}}, \quad (26)$$

де $l_{\text{пвід}}$ – довжина приймально-відправних колій, м, (див. табл. 1Т, 1Е).

Якщо довжина поїзда менша або дорівнює довжині приймально-відправних колій станції заданої ділянки, то маса состава не корегується та робиться висновок про те, що масу состава зменшувати не потрібно.

Якщо ж обчислена довжина поїзда вийшла більшою довжини приймально-відправних колій, вказаної в завданні, то маса состава зменшується так, щоб довжина поїзда була рівною довжині приймально-відправних колій на роздільних пунктах (при цьому знову повинні бути визначені кількість вагонів у составі зменшеної маси, відповідна довжина поїзда та виконане співставлення останньої з заданою довжиною приймально-відправних колій станції).

ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ПИТОМИХ РІВНОДІЮЧИХ СИЛ

Для побудови діаграми питомих рівнодіючих сил попередньо складається таблиця за формою табл. 3 для трьох режимів ведення поїзда по прямій горизонтальній ділянці:

а) для режиму тяги $f_d - \omega_0 = f_1(V)$;

б) для режиму холостого ходу $\omega_{0x} = f_2(V)$;

в) для режиму гальмування:

– під час службового регульовального гальмування $\omega_{0x} + 0,5b_r = f_3(V)$,

– під час екстреного гальмування $\omega_{0x} + b_r = f_4(V)$.

Таблиця заповнюється для швидкостей від 0 до конструкційної V_k через 10 км/год (1-й стовпчик); крім цього, в цей стовпчик необхідно внести також величини швидкостей, що відповідають характерним точкам тягової характеристики заданого локомотива: швидкість виходу на автоматичну характеристику та розрахункову швидкість.

У 2-й стовпчик заносяться значення сили тяги локомотива F_d для вказаних в 1-му стовпчику швидкостей. Значення сили тяги визначаються за тяговою характеристикою локомотива, яка приведена в [1–3]. Швидкості $V = 0$ км/год (момент зрушення поїзда з місця) відповідає значення сили тяги $F_{d \text{ зруш}}$.

Основний питомий опір локомотива під час руху під струмом ω'_0 визначається за графіками, які приведені в [1–3], або за формулою (7). Основний питомий опір состава ω''_0 для занесених в розрахункову таблицю швидкостей визначається за формулою (8) з використанням формул (9–14) або за графіком $\omega''_0 = f(V)$, який може бути попередньо побудований по трьох точках для швидкостей 10, 50 і 100 км/год (цей графік потрібно привести в роботу).

Основний питомий опір локомотива на холостому ході (під час руху без струму) для різних значень швидкості визначається за графіками $\omega_x = f(V)$, які приведені в [1–3]; основний питомий опір локомотивів, для яких ці графічні залежності в [1–3] відсутні, може бути розрахований за формулою:

$$\omega_x = 2,4 + 0,011V + 0,00035V^2. \quad (28)$$

Основні питомі опори ω'_0 , ω_x і ω''_0 можна визначати, використовуючи розрахункові таблиці, приведені в [1–3]. Основний питомий опір всього поїзда (при прямуванні його по прямій горизонтальній ділянці колії) під час руху локомотива на холостому ході (без струму) розраховують за формулою:

$$\omega_{0x} = \frac{P\omega_x + Q\omega''_0}{P + Q}, \quad (29)$$

де P – розрахункова маса локомотива, т;
 Q – маса складу, т.

Величини ω'_0 , ω_x , ω''_0 і ω_{0x} визначаються вказаним шляхом для швидкостей, починаючи з 10 км/год і вище до конструкційної. Значення цих величин за $V = 0$ (в момент зрушення поїзда з місця) приймаються відповідно такими ж, як при $V = 10$ км/год.

Питому гальмівну силу поїзда (Н/кН) розраховують за формулою:

$$b_r = 1000\varphi_{кр} \mathfrak{G}_p, \quad (30)$$

де $\varphi_{кр}$ – розрахунковий коефіцієнт тертя колодок о колесо.

Значення $\varphi_{кр}$ розраховують за формулою:

– у разі чавунних колодках

$$\varphi_{кр} = 0,27 \frac{V + 100}{5V + 100}; \quad (31)$$

– у разі композиційних колодках

$$\varphi_{кр} = 0,36 \frac{V + 150}{2V + 150}; \quad (32)$$

де \mathfrak{G}_p – розрахунковий гальмівний коефіцієнт состава;

$$\mathfrak{G}_p = \frac{\sigma \sum k_p}{Qg} = \frac{\sigma \left(k_{p4}n_4 + k_{p6}n_6 + k_{p8}n_8 \right)}{Qg}, \quad (33)$$

де n_4, n_6, n_8 – число осей в групах 4-, 6- і 8-вісних вагонів состава відповідно: $n_4 = 4m_4$, $n_6 = 6m_6$, $n_8 = 8m_8$;

k_{p4}, k_{p6}, k_{p8} – розрахункові сили натиснення гальмівних колодок на вісь

4-, 6-, 8-вісного вагона відповідно (за чавунні колодки $k_{p4} = k_{p6} = k_{p8} = 68,5$ кН/вісь, а за композиційні колодки $k_{p4} = k_{p6} = k_{p8} = 41,5$ кН/вісь);

σ – частка (не %) гальмівних осей в складі (див. табл. 1Т, 1Е).

Значення розрахункового гальмівного коефіцієнта ϑ_p потрібно вираховувати до третього знаку після коми.

У разі визначення розрахункового гальмівного коефіцієнта вантажних поїздів на спусках до 20 ‰ маса і гальмівні засоби локомотива звичайно не враховуються; це спрощує розрахунки і не знижує їхню точність.

Питома сповільнююча сила, яка діє на поїзд в режимі гальмування, Н/кН, у разі:

– службового регульовального гальмування $\omega_{0x} + 0,5b_r$;

– екстреного гальмування $\omega_{0x} + b_r$ ¹.

Всі результати обчислень заносяться в табл. 3. За даними цієї таблиці по розрахункових точках будується діаграма питомих рівнодіючих сил для режиму тяги $f_d - \omega_0 = f_1(V)$, режиму холостого ходу $\omega_{0x} = f_2(V)$ і режиму службового гальмування $\omega_{0x} + 0,5b_r = f_3(V)$, рис. 1.

Діаграму питомих рівнодіючих сил необхідно накреслити на окремому листі міліметрового паперу, з тим, щоби в подальшому при побудові кривої $V = f(S)$ її можна було б переміщати вздовж профілю.

Під час побудови графічних залежностей варто користуватися масштабами, що приведені в табл. 4, або задатися двома значеннями: швидкості m і прискорюючої сили k , а масштаб шляху j підрахувати за формулою:

$$j = \frac{\varepsilon \cdot m}{k}.$$

Користуючись побудованою діаграмою для визначеної маси складу і серії локомотива, можна аналізувати умови і характер руху поїзда на різних елементах профілю колії: визначати рівномірну швидкість руху поїзда на елементах різної крутизни, питому рівнодіючу силу на різних елементах в залежності від швидкості і т. ін.

¹ Значення $\varphi_{кр}$, b_r і відповідно $(\omega_{0x} + 0,5b_r)$ та $(\omega_{0x} + b_r)$ потрібно і для швидкості $V = 0$ вираховувати за формулами (тобто так само, як і для інших швидкостей).

Масштаби для графічних розрахунків

Параметр	Для загальних розрахунків	Для гальмівних розрахунків
Питомі сили $1 \text{ Н/кН} = k \text{ мм}$	6	1
Швидкість $1 \text{ км/год} = m \text{ мм}$	1	1
Шлях $1 \text{ км} = j \text{ мм}$	20	120
Постійна часу Δ , мм	30	–
Час $1 \text{ хв} = x \text{ мм}$	10	–
Струм $100 \text{ А} = C \text{ мм}$	10 – для електровозів постійного струму 50 – для електровозів змінного струму	

РОЗДІЛ 8

РІШЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ЗАДАЧІ

Перед тим, як приступити до побудови кривих швидкості та часу ходу поїзда по ділянці, необхідно розв'язати гальмівну задачу, яка полягає в визначенні максимально допустимої швидкості руху поїзда по найбільш крутому спуску ділянки при заданих гальмівних засобах і прийнятому гальмівному шляху². Ця задача в роботі розв'язується графічним способом.

Повний (розрахунковий) гальмівний шлях

$$S_r = S_n + S_d, \quad (34)$$

де S_n – шлях підготовки гальм до дії, протягом якого гальма поїзда умовно приймаються недіючими (від моменту встановлення ручки крана машиніста в гальмівне положення до включення гальм поїзда), м;

S_d – дійсний гальмівний шлях, протягом якого поїзд рухається з діючими в повну силу гальмами (кінець шляху S_n співпадає з початком шляху S_d), м.

Рівняння (34) дозволяє знайти допустиму швидкість як величину, що відповідає точці перетину графічних залежностей підготовчого шляху S_n і дійсного гальмівного шляху S_d від швидкості руху поїзда в режимі гальмування.

² Крутизну найбільш крутого ухилу заданої ділянки, для якого розв'язується гальмівна задача, необхідно обов'язково вказати (наприклад, $i_r = -12 \text{ ‰}$).

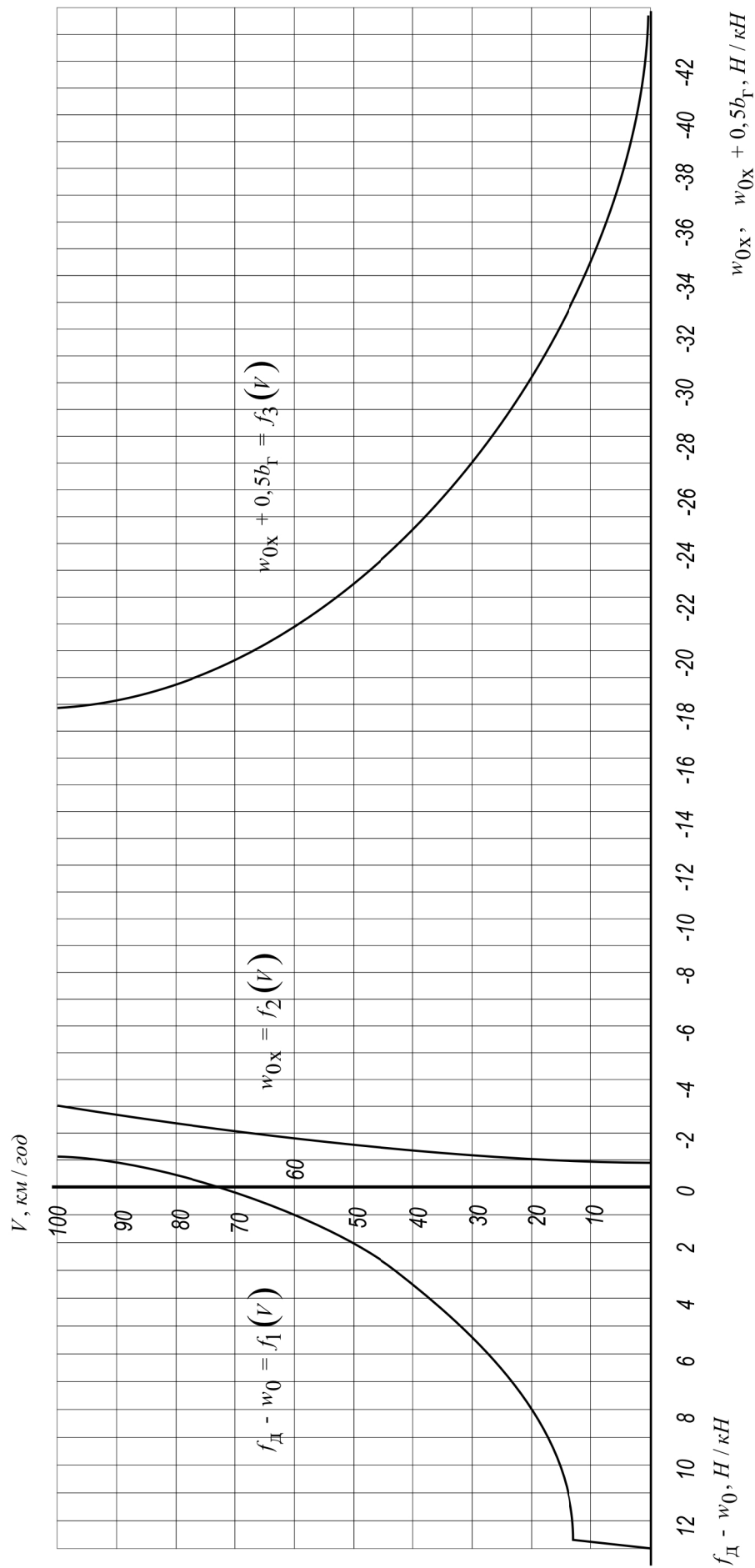


Рис. 1. Діаграма питомих рівнодіючих (прискорюючих і уповільнюючих) сил
(локомотивт, маса складут)

За даними розрахункової таблиці питомих рівнодіючих сил будується по точках залежність питомих сповільнюючих сил при екстреному гальмуванні від швидкості $\omega_{0x} + b_r = f(V)$, а поруч, справа, встановлюється у відповідних масштабах систему координат $V - S$ (рис. 2).

Осі швидкостей V в обох системах координат повинні бути паралельні, а осі питомих сил $(\omega_{0x} + b_r)$ і шляху S повинні лежати на одній прямій. Масштаби для графічних побудов при гальмівних розрахунках варто вибирати з табл. 4.

Розв'язується гальмівна задача наступним чином. Від точки O' вправо на осі S відкладається значення повного гальмівного шляху S_r , який слід приймати рівним: на спусках крутизною до 6 ‰ включно – 1000 м, на спусках крутизною більше 6 ‰ – 1200 м.

На кривій $\omega_{0x} + b_r = f(V)$ відмічаються точки, які відповідають середнім значенням швидкостей вибраного швидкісного інтервалу 10 км/год (тобто точки, що відповідають 5, 15, 25, 35, ... км/год). Через ці точки з точки M на осі $\omega_{0x} + b_r$, що відповідає крутизні самого крутого спуску ділянки i_r (полос побудови), проводяться промені 1, 2, 3, 4 і т. д.

Побудову кривої $V = f(S)$ починають з точки O , оскільки відоме кінцеве значення швидкості при гальмуванні, рівне нулю. З цієї точки проводиться (за допомогою лінійки та трикутника) перпендикуляр до променю 1 до кінця першого інтервалу, тобто в межах від 0 до 10 км/год (відрізок OB). Із точки B проводиться перпендикуляр до променю 2 до кінця другого швидкісного інтервалу від 10 до 20 км/год (відрізок BC); з точки C проводиться перпендикуляр до променю 3 і т. д. Початок кожного наступного відрізка співпадає з кінцем попереднього. В результаті отримуємо ламану лінію, яка являє собою графічно виражену залежність швидкості загальмованого поїзда від пройденого шляху (або, інакше кажучи, залежність шляху, пройденого поїздом в режимі гальмування, від швидкості руху).

На цей же графік варто нанести залежність підготовчого гальмівного шляху від швидкості

$$S_{\text{п}} = 0,278V_{\text{поч}}t_{\text{п}}, \quad (35)$$

де $V_{\text{поч}}$ – швидкість на початку гальмування, км/год;

$t_{\text{п}}$ – час підготовки гальм до дії, с; цей час для автогальм вантажного типу рівний:

– для состава довжиною 200 осей і менше

$$t_{\text{п}} = 7 - \frac{10i_{\text{г}}}{b_{\text{г}}};$$

– для состава довжиною від 200 до 300 осей

$$t_{\text{п}} = 10 - \frac{15i_{\text{г}}}{b_{\text{г}}};$$

– для состава довжиною більше 300 осей

$$t_{\text{п}} = 12 - \frac{18i_{\text{г}}}{b_{\text{г}}},$$

де $i_{\text{г}}$ – крутизна ухилу, для якого розв'язується гальмівна задача (для спусків зі знаком мінус), ‰³;

$b_{\text{г}}$ – питома гальмівна сила при початковій швидкості гальмування $V_{\text{поч}}$, Н/кН.

Число осей в складі – $n = n_4 + n_6 + n_8$.

Побудова залежності підготовчого гальмівного шляху $S_{\text{п}}$ від швидкості виконується по двох точках, для чого розраховують значення $S_{\text{п}}$ при $V_{\text{поч}} = 0$ (в цьому випадку $S_{\text{п}} = 0$) і при $V_{\text{поч}} = V_{\text{к}}$.

Вважається, що загальмований поїзд рухається зліва направо.

Графічна залежність між $S_{\text{п}}$ і $V_{\text{поч}}$ будується в тих же вибраних масштабах.

Значення $S_{\text{п}}$, розраховане для швидкості, що рівна конструкційній швидкості локомотива ($V_{\text{к}}$ приведена в [1–3]), відкладається в масштабі (див. табл. 4) вправо від вертикальної осі $O'V$ на «рівні» тієї швидкості, для якої визначалося значення $S_{\text{п}}$ (тобто навпроти швидкості, що рівна $V_{\text{к}}$). Отримуємо точку K , з'єднуємо її з точкою O' (оскільки при $V_{\text{поч}} = 0$ маємо $S_{\text{п}0} = 0$). Точка N перетину ламаної лінії ABCDEFGHNP з лінією $O'K$ позначає максимально допустиму швидкість руху поїзда на найбільш крутому спуску ділянки при даному розрахунковому гальмівному шляху $S_{\text{г}}$. Отримані після розв'язання

³ Відповідно, при $n \leq 200$ осей $t_{\text{п}} > 7$ с, при $n > 200$ осей $t_{\text{п}} > 10$ с і при $n > 300$ осей $t_{\text{п}} > 12$ с.

гальмівної задачі результати потрібно вказати в роботі ($V_{\text{доп}} = \dots \text{км/год}$; $S_{\text{п}} = \dots \text{м}$; $S_{\text{д}} = \dots \text{м}$).

Графічне рішення гальмівних задач і теоретичне обґрунтування графічних методів розв'язання детально розглянуті в [5].

Результати розв'язання гальмівної задачі необхідно враховувати під час побудови кривої швидкості руху поїзда $V = f(S)$ з тим, щоб ніде не перевищити швидкості, яка допускається по гальмах, тобто щоб поїзд міг бути завжди зупинений на відстані, яка не перевищує довжини повного гальмівного шляху.

РОЗДІЛ 9

ПОБУДОВА КРИВИХ ШВИДКОСТІ, ЧАСУ ХОДУ ПОЇЗДА ТА СТРУМУ

Побудова кривих виконується методом А. І. Ліпеца, який викладений в [5].

У відповідності з ПТР під час виконання тягових розрахунків поїзд розглядається як матеріальна точка, в якій зосереджена вся його маса і до якої прикладені зовнішні сили, діючи на реальний об'єкт (поїзд). Умовно приймають, що ця матеріальна точка розташована в середині поїзда⁴.

Крива швидкості будується для руху поїзда в одному (заданому) напрямку, виходячи з того, що поїзд відправляється зі ст. A (E), проходить без зупинки станцію K і робить зупинку на ст. E (A). При цьому потрібно дотримуватись умови, що швидкість поїзда по вхідних стрілках станції, на якій може бути передбачена зупинка, у відповідності з ПТР не повинна перевищувати 50 км/год внаслідок можливого прийому на бокову колію для схрещування або обгону.

За побудованою кривою швидкості варто перевірити проходження поїздом підйому більшої крутизни, ніж розрахунковий (вище така перевірка виконувалась аналітично).

На кривій швидкості необхідно робити відмітки про включення і виключення тягових електродвигунів локомотива і відмітки про включення і відпуск гальм («Вкл.», «Викл.», «Г», «В.г») [5].

Під час побудови кривої $V = f(S)$ необхідно врахувати наступні обмеження найбільшої допустимої швидкості руху поїзда:

- конструкційна швидкість вантажних вагонів 100 км/год;
- найбільша допустима швидкість поїзда за міцністю колії 80 км/год;

⁴ Заміна розосередженої маси поїзда матеріальною точкою, звичайно, вносить деяку похибку в розрахунки, однак така похибка допустима з точки зору практично необхідної точності; в цей же час методи розрахунків при цьому спрощуються і їхній об'єм зменшується.

- конструкційна швидкість локомотива [1–3];
- найбільша допустима швидкість при рішенні гальмівної задачі.

Максимально допустима швидкість руху поїзда під час побудови кривої $V = f(S)$ повинна прийматися як найменша з чотирьох перерахованих вище обмежуючих швидкостей.

Якщо під час побудови кривої швидкості поїзда на спусках швидкість намагається перевищити допустиму, то необхідно застосовувати службове регулювальне гальмування. У таких випадках рекомендується керуватися п. 1.4.8 ПТР, у відповідності з яким дозволяється будувати криву швидкості $V = f(S)$ на таких спусках у вигляді горизонтальної лінії, яка проводиться нижче рівня допустимої швидкості на величину поправки ΔV ⁵.

При графічних побудовах та аналітичних розрахунках необхідно мати на увазі критерій, який покладено в основу вирішення задачі проходження поїзда по заданій ділянці: забезпечення мінімального часу руху (і, таким чином, освоєння найбільшої пропускної спроможності), а також забезпечення найменших витрат енергоресурсів.

У першому випадку повністю використовуються тягові можливості локомотива, який переважно рухається в режимі тяги. Перехід з режиму тяги на режим холостого ходу або гальмування може бути виправданий лише у випадках, коли швидкість, збільшуючись, доходить до найбільшого допустимого значення.

Під час побудови кривої $V = f(S)$ потрібно враховувати перевірку гальм на шляху прямування, яка згідно з «Інструкцією по експлуатації гальм» виконується у разі досягнення поїздом швидкості 40...60 км/год на площадці або на спуску; зниження швидкості при цьому для вантажних поїздів допускається на 15...20 км/год.

У другому випадку намагаються повністю використовувати накопичену кінетичну енергію, частіше рухаються в режимі холостого ходу. При цьому час руху по ділянці може бути значно більшим, аніж у першому випадку.

При графічних побудовах вважається, що центр маси поїзда розташовується приблизно посередині поїзда по його довжині, осі станцій – в середині елементів, на яких вони розташовані, вхідні стрілки – відповідно на відстані 425, 525, 625 і 775 м від осі станції $\left(l_{\text{пвід}}/2 \right)$.

Крива швидкості зображує рух центра маси поїзда. Коли локомотив, наприклад, входить на вхідні стрілки, центр маси поїзда знаходиться від них на

⁵ На спусках крутизною до 4 % значення ΔV приймається рівним нулю.

відстані, рівній половині довжини поїзда $\left(l_n/2\right)$. Це необхідно враховувати під час побудови кривої швидкості у разі зупинки поїзда на станції. У даному випадку допустима швидкість руху 50 км/год для точки, яка зображує центр маси поїзда, повинна витримуватись не на границі, де розташовані стрілки, а на відстані $\left(l_n/2\right)$ від вертикальної лінії, що проведена через місце розташування вхідних стрілок на станційному елементі профілю колії.

Побудову кривої швидкості необхідно починати від осі першої станції заданої ділянки⁶. Варіанти управління рухом поїзда при підході до станції, на якій передбачена зупинка, ілюструються кривими, що приведені в додатку Б.

Під час побудови кривої часу $t = f(S)$ варто мати на увазі, що ця крива зростаюча. Тому, щоб не мати справи з дуже великим листом паперу, при досягненні ординати, яка рівна 10 хв, криву часу варто обірвати, точку обриву знести по вертикалі вниз на вісь абсцис і продовжувати побудову кривої часу знову від нуля. Таким чином, крива часу через кожні 10 хв обривається.

Після точок перетину кривої $t = f(S)$ з осями роздільних пунктів записуються часи ходу поїзда між двома сусідніми роздільними пунктами (з точністю до 0,1 хв), а також загальний час ходу поїзда по ділянці (наприклад, $t_{AK} = 15,2$ хв, $t_{KE} = 18,6$ хв, $t_{AE} = 33,8$ хв). Побудовані графічні залежності повинні бути позначені $V = f(S)$, $t = f(S)$, $I_r = f(S)$. Криві швидкості та часу ходу поїзда будуються на листі міліметрового паперу, в нижній частині якого потрібно розташувати заданий профіль і план ділянки, над ними – спрямлений профіль, за яким будується крива швидкості. Крім цього, внизу необхідно вказати кілометрові позначки (проти осі першої станції ділянки ставиться нульова кілометрова позначка). Криві швидкості та часу, які є результатом графічного інтегрування рівняння руху поїзда, а також діаграм рівнодіючих сил, що являються основою для такого інтегрування, повинні будуватись добре заструганим твердим олівцем тонкими, але чіткими лініями.

Приклади побудови кривих $V = f(S)$ і $t = f(S)$ для конкретних ділянок шляху з детальними поясненнями приведені в [5].

Під час побудови кривої струму слід користуватись кривою швидкості $V = f(S)$ і струмовою характеристикою $I_r = f(V)$ генератора заданого локомотива [1–3].

У період зрушення з місця і розгону поїзда значення струму I_r слід прийма-

⁶ Осі станцій заданої ділянки проводяться в середні елементів шляху, на яких вони розташовані.

ти у відповідності з обмеженнями по зчепленню або по пусковому струмові. Після виходу на автоматичну характеристику (16-е положення контролера машиніста для тепловозів ТЭЗ і 3ТЭЗ, 15-е для інших тепловозів; лінія, що відповідає ОПЗ для електровозів) величина струму визначається по кривій $I_r = f(V)$ з урахуванням режиму роботи тягових електродвигунів (ПП, ОП1, ОП2, ОП3). Значення струму I_r визначається для швидкостей, які відповідають першій і кінцевій точкам кожного відрізка кривої $V = f(S)$.

За швидкостях, що відповідають переходу з одного режиму роботи тягових електродвигунів на інший, необхідно визначати два значення струму (для обох режимів роботи) і обидва значення нанести на планшет (у цих місцях, тобто при швидкостях, при яких відбуваються переключення режимів роботи, на кривій $I_r = f(S)$ струм змінюється «стрибком»). Навколо кожної із цих точок ставиться умовна позначка режиму роботи тягових двигунів (ПП, ОП1, ОП2, ОП3).

Нанесені таким чином на графік точки з'єднуються прямими лініями, котрі і утворюють графічну залежність $I_r = f(S)$.

У місцях виключення струму криву обривають і проводять вертикально вниз до нуля. Включення струму показується вертикальною лінією від нуля до значення струму, яке відповідає швидкості руху поїзда в даній точці шляху.

Приклад побудови кривої $I_r = f(S)$ з детальними поясненнями подається в [5].

РОЗДІЛ 10

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ХОДУ ПОЇЗДА ПО ПЕРЕГОНАХ

Після побудови кривої часу визначається час ходу по перегонах і технічна швидкість поїзда V_T на ділянці. Всі дані зводяться в таблицю, причому розрахункові дані беруться по кривій $t = f(S)$ з точністю до 0,1 хв, а прийняті для графіка руху поїздів час ходу по перегонах округлюються з точністю до 1 хв.

Таблиця 5

Розрахунок часу ходу поїзда по кривій часу

Перегін	Довжина, м	Час ходу, хв	
		розрахунковий	прийнятий для графіка руху
<i>A-K</i>			
<i>K-E</i>			
По ділянці			

Технічна швидкість руху поїзда по ділянці у км/год

$$V_T = \frac{L \cdot 60}{t_1 + t_2}, \quad (36)$$

де t_1 і t_2 – відповідно час ходу поїзда по першому і другому перегонах заданої ділянки $A-K-E$ (або $E-K-A$), хв;

L – довжина ділянки (відстань між осями граничних станцій заданої ділянки), км.

РОЗДІЛ 11

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ХОДУ ПОЇЗДА МЕТОДОМ РІВНОМІРНИХ ШВИДКОСТЕЙ

Визначення часу ходу таким способом основане на припущеннях про рівномірний рух поїзда по кожному елементу профілю. При цьому швидкість рівномірного руху на кожному елементі спрямленого профілю визначається за діаграмою питомих рівнодіючих сил для режиму тяги.

Для підйомів більш крутих, ніж розрахунковий, величина рівномірної швидкості приймається рівною розрахунковій швидкості V_p . На спусках, коли рівномірна швидкість, визначена за діаграмою питомих сил для режиму тяги, приймається рівномірна швидкість рівною максимально допустимій.

До часу ходу по перегонах, отриманому при розрахунках цим методом, потрібно додавати 2 хв на розгін і 1 хв на сповільнення в кожному випадку, коли є зрушення і розгін поїзда на станції і зупинка його на роздільному пункті ділянки. Всі розрахунки рекомендується звести в таблицю, складену за формою табл. 6.

Таблиця 6

Розрахунок часу ходу методом рівномірних швидкостей

Номер елемента спрямленого профілю	Довжина елемента S , км	Крутизна ухилу i , %	$V_{\text{рів}}$, км/ГОД	$\frac{60}{V_{\text{рів}}}$, хв/км	$\frac{60}{V_{\text{рів}}} S$, хв	Час на розгін і сповільнення, хв
1	S_1	i_1	$V_{\text{рів}1}$.	.	2 (ст. А)
2	S_2	i_2	$V_{\text{рів}2}$.	.	
.	
.	
n	S_n	i_n	$V_{\text{рів}n}$.	.	1 (ст. Е)

$$t = \left(\sum \frac{60}{V_{\text{рив}}} S \right) + 3 = \dots \text{хв.}$$

РОЗДІЛ 12

ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЛОКОМОТИВА НА НАГРІВАННЯ

Перевірку на нагрівання електричних машин тепловоза слід виконувати, керуючись побудованою кривою струму $I_r = f(S)$ і кривою часу $t = f(S)$. У тепловозів ТЭЗ і ЗТЭЗ на нагрівання перевіряється обмотка якоря генератора, а у інших тепловозів та електровозів – обмотки якорів тягових електродвигунів.

Під час перевірки на нагрівання криву струму розбивають на ряд відрізків, в кожному з них величину струму приймають постійною, рівною напівсумі початкового та кінцевого значення.

Для розрахунків по перевірці обмоток електромашин на нагрівання використовують таку формулу:

$$\tau = \tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T} \right), \quad (37)$$

де τ – перевищення температури обмоток над температурою навколишнього середовища, °С;

τ_0 – початкове перевищення температури обмоток для розрахункового інтервалу часу, °С;

Δt – інтервал часу, в якому величина струму приймається постійною, хв;

τ_{∞} – перевищення температури обмоток електричної машини над температурою навколишнього повітря, що встановилося для даного значення середнього струму, °С;

T – теплова стала часу для даного значення струму, хв.

Для підвищення точності розрахунків інтервали часу Δt необхідно вибрати так, щоб виконувалось співвідношення

$$\frac{\Delta t}{T} \leq 0,1. \quad (38)$$

Розрахунок температури за формулою (37) ведуть шляхом ітерацій і починають з вихідного значення температури $\tau_0 = 20$ °С. Одержане на першому

кроці значення τ підставляють замість τ_0 на другому кроці і т. д. Під час руху без струму $\tau_0 = 0$ і температура обмоток буде знижуватись.

Результати розрахунків температури нагрівання обмоток тягових електричних машин в курсовій роботі слід привести у вигляді табл. 7.

Таблиця 7

Результати розрахунків температури нагрівання обмоток

Номер елемента	Середня швидкість, $V_{сер}$, км/год	Середній струм, I , А	Інтервал часу Δt , хв	Теплова стала часу, T , хв	Відношення $\Delta t/T$	Значення τ_{∞} , °С	Значення $\tau_{\infty} (\Delta t/T)$	Значення $\tau_0 (1 - (\Delta t/T))$	Температура обмоток τ , °С

Після завершення розрахунків необхідно порівняти найбільшу одержану температуру нагрівання обмоток тягових електричних машин з допустимою. У разі перевищення температури над допустимою необхідно зменшити масу поїзда і повторити розрахунки. Допустимі температури нагрівання обмоток приведені в [2].

Слід зазначити, що струмові характеристики на відміну від теплових в [2] можуть бути наведені для всього локомотива (для електровоза в цілому або тепловозного генератора). В цьому разі для визначення розрахункових значень струму треба поділити ці значення на кількість паралельних гілок в залежності від схеми з'єднання тягових електродвигунів.

РОЗДІЛ 13

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ЛОКОМОТИВОМ

Для визначення витрат електроенергії електровозом необхідно користуватись побудованими кривими струму та часу руху.

Електровоз постійного струму. По кривих $I_e = f(S)$ і $t = f(S)$ розраховується кількість енергії в кВт·год, яка витрачена електровозом на переміщення поїзда по ділянці та віднесена до струмоприймача. Розрахунок виконують шляхом підсумовування витрат енергії за окремі елементи часу

$$A' = \frac{U_e \sum \left(I_{e\text{сep}} \Delta t \right)}{60 \cdot 1000}, \quad (39)$$

де U_e – напруга на струмоприймачі електровоза, $U_e = 3000 \text{ В}$;

$I_{e\text{сep}}$ – середнє значення струму для відрізка кривої $I_e = f(S)$, в межах якого величину струму можна прийняти постійною і рівною напівсумі струмів на початку і в кінці вказаного відрізка (відрізки беруться між сусідніми точками перелому кривої), А;

Δt – відповідний проміжок часу, протягом якого величина струму приймається постійною, хв; визначається за кривою $t = f(S)$.

Всі розрахунки з визначення витрат електроенергії потрібно звести в таблицю наступної форми.

Таблиця 8

Витрати електроенергії електровозом

Номер ділянки	Струм електровоза $I_{e\text{сep}}$, А	Δt , хв	$I_{e\text{сep}} \cdot \Delta t$, А · хв
			$\sum \left(I_{e\text{сep}} \Delta t \right) = \dots \text{А} \cdot \text{хв}$

Для визначення повної витрати електроенергії необхідно до витрати енергії на переміщення поїзда додати витрати електроенергії на власні потреби електровоза (на роботу допоміжних машин, живлення кіл управління, освітлення та опалення). Їх визначають по середньому значенню струму і повному часу роботи електровоза [2, 5].

Витрати електроенергії на власні потреби електровоза, кВт·год,

$$A'' = r \cdot t, \quad (40)$$

де r – середня витрата електроенергії на власні потреби електровоза за одиницю часу, кВт·год/хв;

$t = t_1 + t_2$ – повний час роботи електровоза на заданій ділянці, хв.

Повна витрата електроенергії електровозом на заданій ділянці в кВт·год

$$A = A' + A''.$$

Питома витрата електроенергії в кВт·год/ткм

$$a = \frac{A \cdot 1000}{Q \cdot L}, \quad (41)$$

де Q – маса состава, т;

L – довжина ділянки, для якої виконані тягові розрахунки (відстань між осями граничних станцій заданої ділянки), км.

Електровоз змінного струму. Під час визначення витрати електроенергії електровозом змінного струму на графіку будується крива діючого значення активного струму $I_{da} = f(S)$. При цьому варто користуватись кривою швидкості $V = f(S)$ і струмовою характеристикою електровоза $I_{da} = f(V)$ [2, 5].

Витрати електроенергії на переміщення поїзда по ділянці (кВт·год) розраховують за формулою:

$$A' = \frac{U_e \sum (I_{da \text{ сеп}} \cdot \Delta t)}{60 \cdot 1000}, \quad (42)$$

де U_e – напруга в контактній мережі, $U_e = 25000$ В;

$I_{da \text{ сеп}}$ – середнє значення активного струму для відрізка кривої $I_{da} = f(S)$ між сусідніми точками перелому кривої, А;

Δt – відповідний проміжок часу, який визначається по кривій $t = f(S)$, хв.

Розрахунки зводяться в таблицю тієї ж форми, що приведена вище для електровозів постійного струму.

Витрати електроенергії електровозом змінного струму на власні потреби A'' визначають так само, як для електровозів постійного струму. Повна витрата електроенергії електровозом на заданій ділянці, кВт·год,

$$A = A' + A'' \quad (43)$$

Питому витрату електроенергії визначають так само, як і для електровоза постійного струму, за формулою (41).

Тепловоз. Витрати дизельного палива тепловозом на заданій ділянці, кг,

визначають за формулою:

$$E = Gt_T + g_x t_x, \quad (44)$$

де G – витрата дизельного палива тепловозом на режимі тяги, що відповідає 16-му (для ТЭЗ) або 15-му (для решти тепловозів) положенню ручки контролера, кг/хв;

t_T – сумарний час роботи тепловоза на режимі тяги, хв;

g_x – витрата пального тепловозом при вимкненому струмі (режимі холостого ходу і гальмування), кг/хв;

t_x – сумарний час руху тепловоза на режимі холостого ходу і гальмування, хв.

Час роботи тепловоза t_T і t_x визначається по кривій часу $t = f(S)$ і відмітках про зміну режиму роботи тепловоза на кривій швидкості $V = f(S)$. Питома витрата палива на вимірювач, кг/10⁴ ткм,

$$e = \frac{E}{Q \cdot L} 10^4. \quad (45)$$

Питома витрата палива звичайно приводиться до питомої витрати умовного пального, кг/10⁴ ткм,

$$e_y = e \cdot E, \quad (46)$$

де E – еквівалент дизельного пального, $E = 1,43$.

РОЗДІЛ 14

ПОБУДОВА ТОННО-КІЛОМЕТРОВОЇ ДІАГРАМИ

У разі прямування поїздів на великі відстані їх масу не можна змінювати для кожного перегону або ділянки, оскільки це вимагало б частого переформування составів, при якому ускладнилась би робота станції і уповільнилась доставка вантажів.

Залізничні ділянки зазвичай обслуговуються однією серією локомотива. Але кожен перегін має різний профіль колії і, отже, даний тип локомотива при повному використанні його потужності може везти на кожному перегоні состав різної ваги. Однак зміна ваги состава на кожному перегоні для всіх поїздів практично неможлива і може бути здійснена лише для складених поїз-

дів. Інші ж категорії поїздів (дільничні і маршрутні) мають єдину вагову норму по всій ділянці, що розглядається. Вона встановлюється по найважчому перегону ділянки, але може бути підвищена шляхом використання тих або інших спеціальних заходів. Цьому і сприяє попередньо побудована тонно-кілометрова діаграма (QS -діаграма).

QS -діаграму будують окремо для кожної ділянки, а потім їх зіставляють разом по всьому розглянутому напрямку.

Перед побудовою тонно-кілометрової діаграми необхідно ще раз проаналізувати заданий профіль ділянки з метою встановлення розрахункового підйому для кожного перегону.

За встановленими розрахунковими підйомами згідно з формулою (6), розраховується найбільша вага состава для кожного перегону, яку може везти локомотив заданої серії.

Для побудови тонно-кілометрової діаграми на міліметровому папері по горизонтальній лінії відкладаються в масштабі довжини перегонів і розмежуються вертикальними лініями. Під кожним із перегонів в одній лінійці записується довжина перегону, а в другій – величина розрахункового підйому. Потім розраховану вагу состава для кожного перегону відкладають в масштабі по вертикалі і в межах кожного перегону проводять горизонтальну лінію на висоті, рівній в масштабі цій вазі складу. Побудована таким чином QS -діаграма складається із ряду прямокутників; площа кожного із них являє собою перевізну роботу в тонно-кілометрах, виконану локомотивом на даному перегоні [5].

Приклад QS -діаграми для восьми перегонів наведений на рис. 3.

Після побудови виконують аналіз розрахованих значень Q та відпрацьовують план заходів з можливості підвищення маси состава (використання на окремих перегонах подвійної тяги, або товкача, або пропуску поїзда без зупинки на відповідному пункті тощо), встановлення уніфікованої маси состава Q_y для всіх перегонів більшою за розрахункову.

ДОДАТОК А

ПРОФІЛІ ДО ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

(приймається профіль, номер якого відповідає передостанній цифрі шифру)

Профіль № 0 – від ст. А до ст. Е

Профіль № 1 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1600	$R = 650; S_{кр} = 350$	Станція А
2 (22)	-2,5	2500		
3 (21)	-3,5	800		
4 (20)	0,0	1600		
5 (19)	+12,5	1850		
6 (18)	+10,0	6800		
7 (17)	+3,5	500		
8 (16)	+1,5	1600		
9 (15)	0,0	800	$R = 1500; S_{кр} = 600$	Станція К
10 (14)	-2,0	1250		
11 (13)	0,0	1000		
12 (12)	+6,0	800		
13 (11)	-4,0	500		
14 (10)	0,0	500		
15 (9)	-9,0	1200		
16 (8)	0,0	2500		
17 (7)	-7,0	7375	$R = 650; S_{кр} = 450$ $R = 1000; S_{кр} = 500$	Станція Е
18 (6)	+2,0	1700		
19 (5)	0,0	700		
20 (4)	-2,0	450		
21 (3)	+4,5	600		
22 (2)	+3,0	2000		
23 (1)	0,0	1550		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А
Профіль № 2 – від ст. А до ст. Е
Профіль № 3 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	-1,5	1800		Станція А
2 (22)	-3,0	1800	$R = 800; S_{кр} = 1000$	
3 (21)	-5,0	2000		
4 (20)	0,0	1600	$R = 1000; S_{кр} = 600$	
5 (19)	+9,0	2000		
6 (18)	+7,0	7000		
7 (17)	0,0	400	$R = 700; S_{кр} = 500$	
8 (16)	+6,0	500		Станція К
9 (15)	+1,5	1700		
10 (14)	+5,0	400		
11 (13)	+3,0	400	$R = 650; S_{кр} = 400$	
12 (12)	0,0	600		
13 (11)	-10,0	1450		
14 (10)	0,0	800		
15 (9)	-4,0	1400		
16 (8)	+3,0	800	$R = 700; S_{кр} = 400$	
17 (7)	0,0	700		
18 (6)	-8,0	6500		
19 (5)	0,0	1850		
20 (4)	+1,0	1650		
21 (3)	+2,0	1500		
22 (2)	0,0	1900	$R = 1500; S_{кр} = 850$	
23 (1)	+1,5	1550		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А
Профіль № 4 – від ст. А до ст. Е
Профіль № 5 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1600		Станція А
2 (22)	+2,0	1000	$R = 800; S_{кр} = 400$	
3 (21)	0,0	1800		
4 (20)	+4,0	800	$R = 1200; S_{кр} = 650$	
5 (19)	0,0	1000	$R = 1500; S_{кр} = 400$	
6 (18)	-10,0	1500		
7 (17)	-8,0	7800		
8 (16)	-2,0	1700		
9 (15)	-5,0	600	$R = 1500; S_{кр} = 450$	
10 (14)	+1,0	1500		
11 (13)	0,0	2000		
12 (12)	+4,0	800	$R = 850; S_{кр} = 750$	
13 (11)	+5,0	1800		
14 (10)	0,0	1300		
15 (9)	+12,0	1500		
16 (8)	+9,0	8000		
17 (7)	+1,0	1800		
18 (6)	-4,0	2750	$R = 700; S_{кр} = 350$	
19 (5)	-3,0	860		
20 (4)	-1,5	1950		
21 (3)	0,0	2000		
22 (2)	+2,0	2500		
23 (1)	+1,5	1800		Станція Е

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А
Профіль № 6 – від ст. А до ст. Е
Профіль № 7 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1800		Станція А
2 (22)	-3,0	1500	$R = 1500; S_{кр} = 900$	
3 (21)	0,0	800	$R = 1000; S_{кр} = 500$	
4 (20)	+4,5	600		
5 (19)	-7,0	7400		
6 (18)	-9,0	1250		
7 (17)	+2,5	1000	$R = 700; S_{кр} = 400$	
8 (16)	0,0	400		
9 (15)	+4,0	800	$R = 900; S_{кр} = 350$	
10 (14)	0,0	1000		
11 (13)	+2,5	1800		
12 (12)	0,0	500		
13 (11)	-2,0	450	$R = 1200; S_{кр} = 300$	
14 (10)	-4,0	500	$R = 1500; S_{кр} = 500$	
15 (9)	0,0	600		
16 (8)	+11,0	1750		
17 (7)	+9,0	6800		
18 (6)	+3,0	1000		
19 (5)	0,0	2500	$R = 700; S_{кр} = 350$	
20 (4)	-1,5	800		
21 (3)	0,0	500		
22 (2)	-2,0	1400		Станція Е
23 (1)	-1,5	2000		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А
Профіль № 8 – від ст. А до ст. Е
Профіль № 9 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1800		Станція А
2 (22)	-1,0	800	$R = 900; S_{кр} = 400$	
3 (21)	-4,0	1000	$R = 1500; S_{кр} = 650$	
4 (20)	0,0	1400		
5 (19)	-9,0	7500		
6 (18)	-10,5	1500		
7 (17)	0,0	650	$R = 800; S_{кр} = 300$	
8 (16)	+5,0	900		
9 (15)	+1,0	1300		
10 (14)	+2,0	2000		
11 (13)	0,0	900		
12 (12)	-3,0	1000		
13 (11)	0,0	750	$R = 1200; S_{кр} = 450$	
14 (10)	+11,0	2000		
15 (9)	+9,0	7500		
16 (8)	+1,5	800	$R = 975; S_{кр} = 400$	
17 (7)	0,0	1600		
18 (6)	-4,0	2750		
19 (5)	-3,0	850	$R = 650; S_{кр} = 400$	
20 (4)	-1,5	1000		
21 (3)	0,0	900		
22 (2)	+1,5	500		
23 (1)	-1,5	1750		Станція Е

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А
Профіль № 10 – від ст. А до ст. Е
Профіль № 11 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	-2,5	1700		Станція А
2 (22)	-1,5	3400	$R = 750; S_{кр} = 390$	
3 (21)	+2,0	1800	$R = 1500; S_{кр} = 700$	
4 (20)	0,0	1600		
5 (19)	+12,5	2100		
6 (18)	+10,0	7800		
7 (17)	+1,5	500		
8 (16)	+2,5	600		
9 (15)	0,0	800		
10 (14)	-3,0	1200	$R = 900; S_{кр} = 500$	
11 (13)	0,0	1200		
12 (12)	+4,5	600		
13 (11)	0,0	500	$R = 600; S_{кр} = 450$	
14 (10)	+6,5	800		
15 (9)	-7,0	7000		
16 (8)	-9,5	1400		
17 (7)	0,0	2100		
18 (6)	+2,5	1700		
19 (5)	0,0	750	$R = 1100; S_{кр} = 600$	Станція Е
20 (4)	-3,0	1000		
21 (3)	+1,5	900		
22 (2)	0,0	800		
23 (1)	-1,0	1600		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А
Профіль № 12 – від ст. А до ст. Е
Профіль № 13 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	-1,0	1800		Станція А
2 (22)	-4,0	1700		
3 (21)	-3,0	2100	$R = 850; S_{кр} = 1200$	
4 (20)	0,0	1600	$R = 1000; S_{кр} = 600$	
5 (19)	+9,0	2200		
6 (18)	+7,0	7700		
7 (17)	0,0	600		
8 (16)	+2,0	500		
9 (15)	+1,5	1900		Станція К
10 (14)	+5,0	1400	$R = 700; S_{кр} = 500$	
11 (13)	+3,0	400		
12 (12)	0,0	600	$R = 750; S_{кр} = 600$	
13 (11)	-10,5	1400		
14 (10)	0,0	800		
15 (9)	+6,5	1400		
16 (8)	+3,0	600		
17 (7)	0,0	700	$R = 900; S_{кр} = 400$	
18 (6)	-8,0	8900		
19 (5)	0,0	1350		
20 (4)	+1,0	1650		
21 (3)	+2,0	1400		
22 (2)	+4,0	1000	$R = 1500; S_{кр} = 850$	
23 (1)	0,0	1900		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А
Профіль № 14 – від ст. А до ст. Е
Профіль № 15 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1800		Станція А
2 (22)	-3,0	1400	$R = 1700; S_{кр} = 900$	
3 (21)	-4,0	2400		
4 (20)	+3,0	1250	$R = 700; S_{кр} = 600$	
5 (19)	0,0	800	$R = 1000; S_{кр} = 800$	
6 (18)	-8,0	6200		
7 (17)	-12,5	1200		
8 (16)	0,0	400	$R = 700; S_{кр} = 350$	
9 (15)	-4,0	800		
10 (14)	0,0	1000		
11 (13)	+1,5	1100		
12 (12)	0,0	500	$R = 1200; S_{кр} = 300$	
13 (11)	-3,0	450		
14 (10)	-4,0	500		
15 (9)	0,0	1600		
16 (8)	+11,0	1750		
17 (7)	+9,0	8800		
18 (6)	+3,0	1200		
19 (5)	0,0	500		
20 (4)	-2,0	800	$R = 1500; S_{кр} = 500$	Станція Е
21 (3)	-3,5	1000		
22 (2)	0,0	500		
23 (1)	-1,5	2000		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А

Профіль № 16 – від ст. А до ст. Е

Профіль № 17 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	+1,0	1600		Станція А
2 (22)	+3,0	1000	$R = 800; S_{кр} = 450$	
3 (21)	0,0	1700	$R = 1000; S_{кр} = 650$	
4 (20)	-5,0	900		
5 (19)	0,0	1000	$R = 1500; S_{кр} = 400$	
6 (18)	-8,0	7850		
7 (17)	-10,0	700		
8 (16)	+2,0	1700	$R = 500; S_{кр} = 450$	
9 (15)	-3,0	1400		
10 (14)	0,0	1500		Станція К
11 (13)	+1,5	1800		
12 (12)	0,0	2000	$R = 750; S_{кр} = 850$	
13 (11)	+4,0	1800		
14 (10)	+5,0	700		
15 (9)	-1,0	1300		
16 (8)	0,0	2000		
17 (7)	+12,0	1500		
18 (6)	+10,0	8200		
19 (5)	-4,0	300	$R = 900; S_{кр} = 350$	
20 (4)	-3,0	400		
21 (3)	0,0	600		
22 (2)	-1,5	1000		
23 (1)	+1,0	1900		Станція Е

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А

Профіль № 18 – від ст. А до ст. Е

Профіль № 19 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	-1,0	1800		Станція А
2 (22)	-3,0	800	$R = 900; S_{кр} = 700$	
3 (21)	-2,0	1000		
4 (20)	0,0	1700	$R = 1200; S_{кр} = 650$	
5 (19)	-9,0	7600		
6 (18)	-10,5	1500		
7 (17)	0,0	600		
8 (16)	+5,0	900	$R = 900; S_{кр} = 500$	
9 (15)	+1,0	1300		Станція К
10 (14)	+1,5	2500		
11 (13)	0,0	900		
12 (12)	-3,0	1000		
13 (11)	-1,0	1500		
14 (10)	0,0	750		
15 (9)	+11,0	2000	$R = 1200; S_{кр} = 450$	
16 (8)	+9,0	8600		
17 (7)	+2,5	800		
18 (6)	0,0	1900		
19 (5)	-3,0	1750	$R = 575; S_{кр} = 400$	
20 (4)	-4,0	800		
21 (3)	0,0	700		
22 (2)	+1,0	800		
23 (1)	-1,5	1850		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А

Профіль № 20 – від ст.А до ст. Е

Профіль № 21 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	-2,5	1700		Станція А
2 (22)	-1,5	2400	$R = 650; S_{кр} = 350$	
3 (21)	-3,5	800		
4 (20)	0,0	1600		
5 (19)	+12,5	1850		
6 (18)	+3,5	500	$R = 1500; S_{кр} = 600$	
7 (17)	+10,0	6800		
8 (16)	+1,5	1600	$R = 1000; S_{кр} = 500$	
9 (15)	0,0	800	$R = 650; S_{кр} = 450$	
10 (14)	+4,5	600		
11 (13)	0,0	1000		
12 (12)	+6,0	800		
13 (11)	-2,0	1250	$R = 1300; S_{кр} = 650$	
14 (10)	0,0	500		
15 (9)	-7,0	7375		
16 (8)	-9,0	1200		
17 (7)	0,0	2500		
18 (6)	+2,0	1700		
19 (5)	-3,5	1000	$R = 700; S_{кр} = 400$	
20 (4)	-1,5	500		
21 (3)	0,0	800		
22 (2)	+1,5	700		Станція Е
23 (1)	0,0	1600		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А

Профіль № 22 – від ст. А до ст. Е

Профіль № 23 – від ст. Е к ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1600		Станція А
2 (22)	+2,0	1000	$R=800; S_{кр} = 400$	
3 (21)	0,0	1800		
4 (20)	-3,0	1500		
5 (19)	-8,0	7800		
6 (18)	+5,0	600	$R=1500; S_{кр} = 400$	
7 (17)	0,0	600	$R=1200; S_{кр} = 650$	Станція К
8 (16)	+2,0	1700		
9 (15)	+2,5	1500	$R = 650; S_{кр} = 400$	
10 (14)	+3,0	400		
11 (13)	0,0	600		
12 (12)	-11,0	1450		
13 (11)	0,0	800		
14 (10)	+4,0	1400	$R=700; S_{кр} = 400$	
15 (9)	-3,0	800		
16 (8)	+9,5	1700		
17 (7)	+8,0	6500		
18 (6)	0,0	1850		
19 (5)	+1,0	1650		
20 (4)	+2,0	1500	$R=1500; S_{кр} = 850$	
21 (3)	-4,0	1200		
22 (2)	-1,5	1500		
23 (1)	0,0	1900		Станція Е

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А

Профіль № 24 – від ст. А до ст. Е

Профіль № 25 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1800		Станція А
2 (22)	-1,5	1500	$R=1500; S_{кр} = 900$	
3 (21)	-2,0	1400		
4 (20)	-9,0	7250		
5 (19)	0,0	800		
6 (18)	-10,5	1200		
7 (17)	+4,5	1600	$R=1000; S_{кр} = 500$	Станція К
8 (16)	0,0	400		
9 (15)	-4,0	800	$R=700; S_{кр} = 400$	
10 (14)	0,0	1500		
11 (13)	+3,0	400		
12 (12)	0,0	600		
13 (11)	-1,0	1450	$R=900; S_{кр} = 350$	
14 (10)	0,0	800	$R=650; S_{кр} = 400$	
15 (9)	-4,0	1400		
16 (8)	-3,0	800		
17 (7)	+12,0	1700		
18 (6)	+10,0	6500		
19 (5)	0,0	1850	$R=700; S_{кр} = 400$	
20 (4)	+1,0	1650		
21 (3)	+2,0	1500		
22 (2)	+4,0	1200		
23 (1)	0,0	1900	$R=1500; S_{кр} = 850$	Станція Е

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А

Профіль № 26 – від ст. А до ст. Е

Профіль № 27 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1800		Станція А
2 (22)	-1,5	1500	$R=1500; S_{кр} = 800$	
3 (21)	-2,0	1000		
4 (20)	-9,0	7250		
5 (19)	0,0	800	$R=1000; S_{кр} = 500$	
6 (18)	+5,5	1200		
7 (17)	+4,5	600	$R=700; S_{кр} = 400$	
8 (16)	0,0	400		
9 (15)	-4,0	800		
10 (14)	0,0	1500		Станція К
11 (13)	+2,5	1800		
12 (12)	0,0	500	$R=900; S_{кр} = 350$	
13 (11)	-2,0	450		
14 (10)	-4,0	500		
15 (9)	-10,0	1500		
16 (8)	0,0	1500		
17 (7)	+12,0	1500		
18 (6)	+9,0	8000		
19 (5)	+5,0	1450		
20 (4)	0,0	1300	$R=1200; S_{кр} = 300$	
21 (3)	+3,0	800		
22 (2)	+1,5	2000	$R=1500; S_{кр} = 500$	
23 (1)	0,0	1750		

ПРОДОВЖЕННЯ ДОД. А

Профіль № 28 – від ст. А до ст. Е

Профіль № 29 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	0,0	1550		Станція А
2 (22)	-2,0	1400	$R=900; S_{кр}=400$	
3 (21)	-1,5	2000	$R=1000; S_{кр}=650$	
4 (20)	0,0	1800		
5 (19)	-1,0	2000	$R=800; S_{кр}=300$	
6 (18)	-4,0	1000		
7 (17)	0,0	1400		
8 (16)	-9,0	7500		
9 (15)	-10,5	1500		
10 (14)	0,0	1600		
11 (13)	+5,0	900	$R=1200; S_{кр}=450$	Станція К
12 (12)	+1,0	1300		
13 (11)	+2,0	2000		
14 (10)	0,0	900	$R=975; S_{кр}=400$	
15 (9)	-3,0	1000		
16 (8)	0,0	750		
17 (7)	+11,0	2000		
18 (6)	+9,0	7500		
19 (5)	+1,5	800		
20 (4)	0,0	600	$R=850; S_{кр}=550$	
21 (3)	+1,0	1750		Станція Е
22 (2)	+3,0	1800		
23 (1)	0,0	1400		

ЗАКІНЧЕННЯ ДОД. А

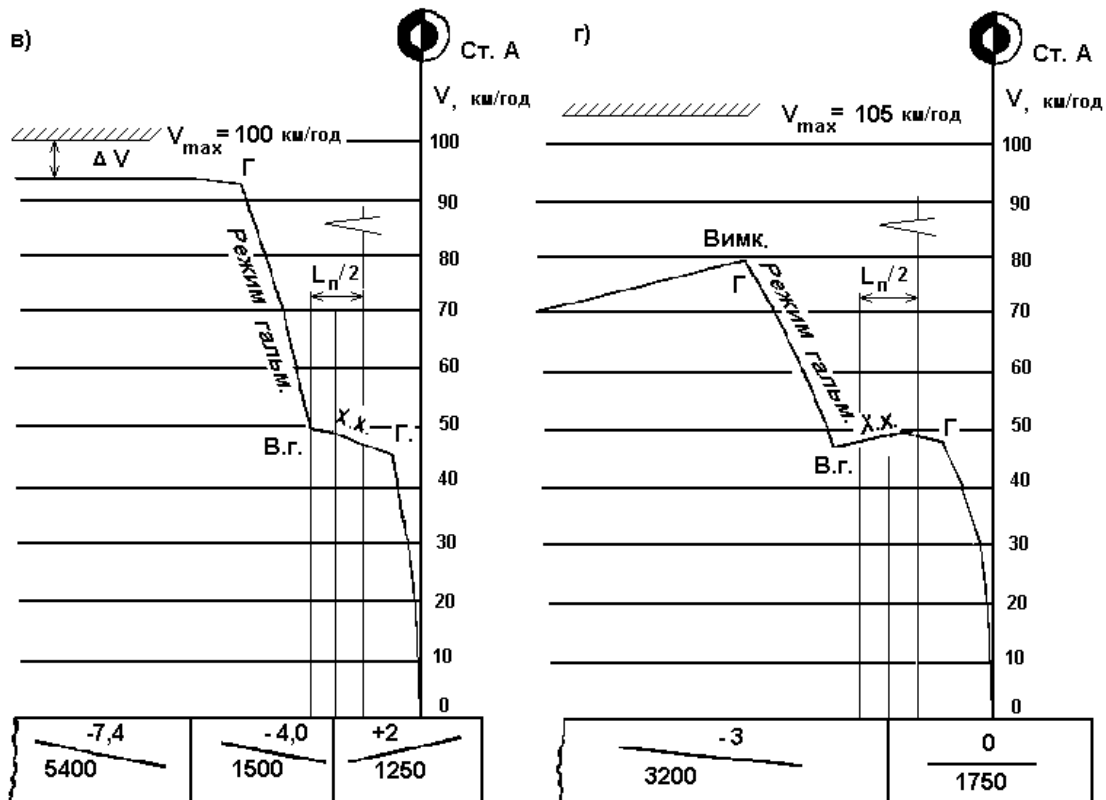
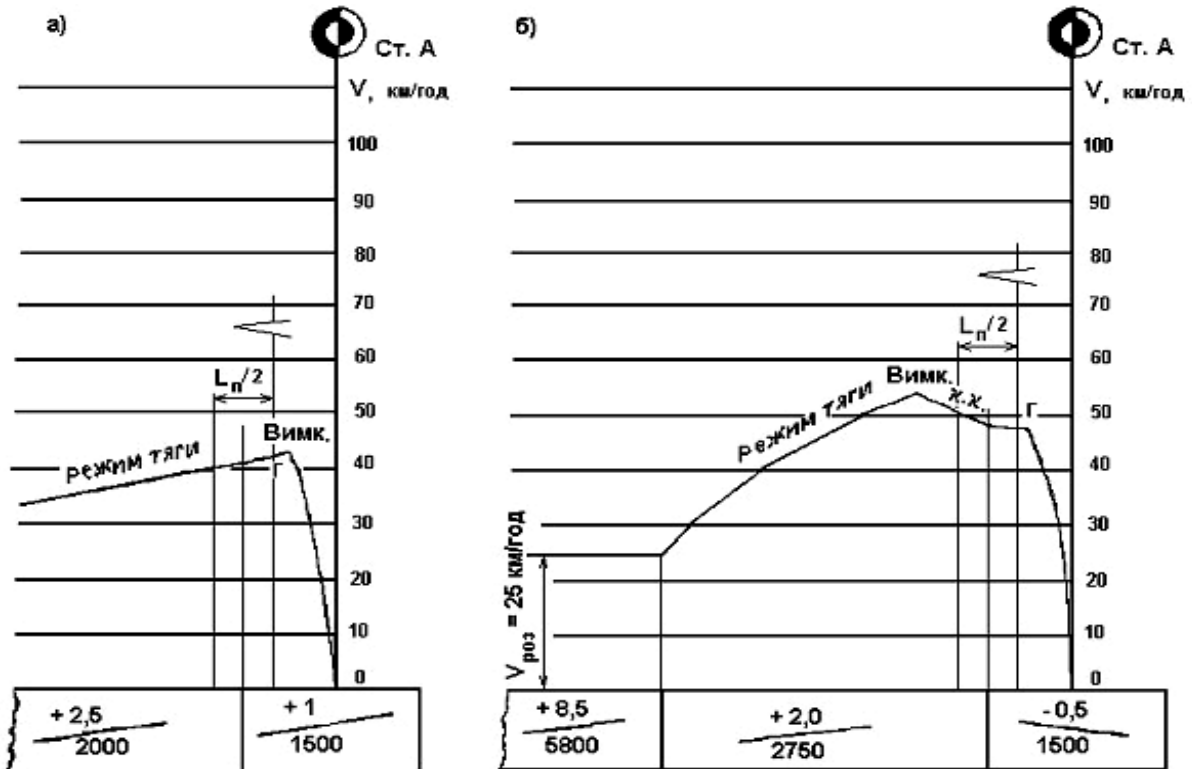
Профіль № 30 – від ст. А до ст. Е

Профіль № 31 – від ст. Е до ст. А (знаки ухилів змінити на зворотні)

Номер елемента	Крутизна ухилу, ‰	Довжина елемента, м	Крива (радіус і довжина, м)	Станція ділянки
1 (23)	2,5	1800		Станція А
2 (22)	0,0	500	$R=1200; S_{кр}=300$	
3 (21)	-1,5	800	$R=1500; S_{кр}=500$	
4 (20)	-2,0	450		
5 (19)	0,0	500		
6 (18)	-1,5	600	$R=1200; S_{кр}=450$	
7 (17)	+11,0	1750		
8 (16)	+9,0	6800		
9 (15)	-3,0	1000		
10 (14)	0,0	2500	$R=1200; S_{кр}=450$	
11 (13)	-2,0	1400		Станція К
12 (12)	+1,5	2000		
13 (11)	0,0	900	$R=975; S_{кр}=400$	
14 (10)	-3,0	1000		
15 (9)	0,0	750		
16 (8)	-9,0	2000		
17 (7)	-12,0	7500		
18 (6)	+1,5	800		
19 (5)	+2,5	900	$R=900; S_{кр}=450$	
20 (4)	0,0	1600		
21 (3)	-4,0	2750		Станція Е
22 (2)	-3,0	850		
23 (1)	-1,5	1750		

ДОДАТОК Б

ПРИКЛАДИ ПОБУДОВИ КРИВОЇ ШВИДКОСТІ



Виробничо-практичне видання

Бобирь Дмитро Валерійович

Капіца Михайло Іванович

Сердюк Володимир Никандрович

ТЕОРІЯ ЛОКОМОТИВНОЇ ТЯГИ

Методичні рекомендації для виконання розрахунково-графічної роботи та дипломного проектування

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. __. Обл.-вид. арк. __.

Український державний університет науки і технологій
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003
Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010