

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання курсової роботи з дисципліни  
**«РУХОМИЙ СКЛАД ТА ТЯГА ПОЇЗДІВ»**  
для студентів денної та заочної форм навчання  
спеціальності 275.02  
«Транспортні технології (на залізничному транспорті)»

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Рухомий склад та тяга поїздів» для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» / Укл. Сущенко Р.В. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 32 с.

Наведено методику та порядок виконання тягових розрахунків руху поїздів. Розрахунок маси складу та перевірка її за умовами рушання з місця та довжини приймально-відправних колій, методику виконання спрямлення профілю шляху, рішення гальмівних задач, побудова графіків швидкості та часу руху поїзда по перегону, визначення витрат енергоресурсів.

Укладач: Сущенко Р.В., д.пед.н., професор

Рецензент: Турпак С.М., д.техн.н., професор

Відповідальний за випуск: Лебідь Г.О., ст. викладач

Затверджено на засіданні кафедри  
«Транспортні технології»  
Протокол № 1  
від «18» серпня 2021 р.

Рекомендовано до видання НМК  
Транспортного факультету  
Протокол № 88  
від «18» серпня 2021 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	5
ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ .....	6
1 ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ ПОЇЗДА .....	7
2 ПЕРЕВІРКА МАСИ ПОЇЗДА НА РУШАННЯ З МІСЦЯ.....	9
3 ПЕРЕВІРКА МАСИ ПОЇЗДА ЗА ДОВЖИНОЮ ПРИЙМАЛЬНО- ВІДПРАВНИХ КОЛІЙ .....	10
4 СПРЯМЛЕННЯ ПРОФІЛЮ ШЛЯХУ .....	11
5 ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ПИТОМИХ РІВНОДІЮЧИХ СИЛ .....	18
6 РІШЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ ЗАДАЧ.....	21
7 ПОБУДОВА КРИВОЇ ШВИДКОСТІ $V=F(S)$ .....	23
8 ПОБУДОВА КРИВОЇ ЧАСУ РУХУ ПОЇЗДА $T=F(S)$ .....	26
9 ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ РУХУ ПОЇЗДА НА ПЕРЕГОНАХ ТА ТЕХНІЧНОЇ ШВИДКОСТІ НА ДІЛЯНЦІ .....	27
10 ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ РУХУ ПОЇЗДА СПОСОБОМ РІВНОМІРНИХ ШВИДКОСТЕЙ .....	27
11 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ .....	28
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	32

## ВСТУП

Тягові розрахунки руху поїздів – один з найбільш важливих розрахунків залізниць. Розрахунки використовують для визначення пропускної спроможності ділянки, побудови графіка руху поїздів при мінімальних економічних і фізичних витратах.

Для досягнення цієї мети виходять з принципу максимуму: розраховують можливість водіння поїздів найбільшої ваги, з найбільш можливою швидкістю при максимальному використанні енергії інерційного руху на нерівному профілі шляху.

Для розрахунку руху і для мінімізації витрат енергії необхідно підібрати також тягові або гальмівні сили так, щоб вони подолали сили опору руху поїзда з урахуванням дотримання умов безпечного руху.

Тягові розрахунки руху поїздів базуються на основі експериментальних і теоретичних даних і є основною ланкою в справі раціонального функціонування залізниць.

## ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

Таблиця 1 – Вихідні дані до курсової роботи

Варіант	Тип лок-ва	Крутизна схилу $i_p$ , %	Профіль колії	Гальмівні колодки	Довжина колії $l_{пвк}$ , м	Частка 4-х вісних вагонів з підшипниками		Частка 8-ми вісних вагонів
						качіння	ковзання	
1	2ТЭ10Л	8	1	чавунні	1250	80	8	12
2	ВЛ10	9	2	композиційні	1050	75	15	10
3	ВЛ22	10	3	чавунні	1050	70	10	20
4	ВЛ23	11	4	композиційні	1050	65	20	15
5	ВЛ60	12	5	чавунні	850	88	6	6
6	ВЛ8	8	6	композиційні	1050	85	5	10
7	ВЛ80	9	7	чавунні	1050	84	6	10
8	ВЛ82	10	8	композиційні	1050	60	20	20
9	ТЭЗ	11	9	чавунні	850	55	30	15
10	2ТЭ10Л	8	10	композиційні	1250	80	8	12
11	ВЛ10	9	1	чавунні	1050	75	15	10
12	ВЛ22	10	2	композиційні	1050	70	10	20
13	ВЛ23	11	3	чавунні	1050	65	20	15
14	ВЛ60	12	4	композиційні	850	88	6	6
15	ВЛ8	8	5	чавунні	1050	85	5	10
16	ВЛ80	9	6	композиційні	1050	84	6	10
17	ВЛ82	10	7	чавунні	1050	60	20	20
18	ТЭЗ	11	8	композиційні	850	55	30	15
19	2ТЭ10Л	8	9	чавунні	1250	80	8	12
20	ВЛ10	9	10	композиційні	1050	75	15	10
21	ВЛ22	10	1	чавунні	1050	70	10	20
22	ВЛ23	11	2	композиційні	1050	65	20	15
23	ВЛ60	12	3	чавунні	850	88	6	6
24	ВЛ8	8	4	композиційні	1050	85	5	10
25	ВЛ80	9	5	чавунні	1050	84	6	10

Таблиця 2 – Розрахункові параметри локомотивів

Тип лок-ва	Довж. лок-ва $l_l$ , м	Розрах. швидк. $V_p$ , км/год	Розрах. маса лок-ва $P$ , т	Констр. швидк. $V_k$ , км/год	$F_{крупш}$ , Н	$F_{кр}$ , Н
2ТЭ10Л	34	23,4	258	100	760400	496400
ВЛ10	33	46,7	184	100	614100	451260
ВЛ22	16	46,7	132	100	614130	451260
ВЛ23	17	46,7	138	100	667080	492460
ВЛ60	21	43,5	138	100	487350	361000
ВЛ8	28	43,5	184	100	649500	480690
ВЛ80	33	43,5	190	110	677650	502300
ВЛ82	33	50,5	190	110	667270	487560
ТЭЗ	34	20,5	254	100	855000	594400

## ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Завдання на курсову роботу

Реферат

Вступ

- 1 Визначення маси поїзда
- 2 Перевірка маси поїзда на рушання з місця
- 3 Перевірка маси поїзда за довжиною приймально-відправних колій
- 4 Спрямування профілю шляху
- 5 Побудова діаграми питомих рівнодіючих сил
- 6 Рішення гальмівних задач
- 7 Побудова кривої швидкості  $v=f(S)$
- 8 Побудова кривої часу руху поїзда  $t=f(S)$
- 9 Визначення часу руху поїзда на перегоні та технічної швидкості на ділянці
- 10 Визначення часу руху поїзда способом рівномірних швидкостей
- 11 Визначення витрат енергоресурсів

Висновки

Перелік посилань

Графічна частина роботи

Лист 1 Діаграми питомих рівнодіючих сил

Лист 2 Рішення гальмівної задачі

Лист 3 Крива швидкості  $v=f(S)$  та крива часу руху поїзда  $t=f(S)$

## 1 ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ ПОЇЗДА

Масу складу і швидкість руху поїзда визначають виходячи з умов повного використання потужності і тягових якостей локомотивів, а також кінетичної енергії поїзда відповідно до норм, наведених в Правилах тягових розрахунків [1]. У необхідних випадках для забезпечення заданої маси складу і технічної швидкості необхідно передбачати підштовхування, кратну тягу, потужніші локомотиви, перенесення зупинок з роздільних пунктів, розташованих перед зтяжними підйомами і т.д.

Залежно від характеру профілю шляху даної ділянки розрахунок маси складу вантажного поїзда виконується виходячи з умов безупинного руху: по розрахунковому підйому з рівномірною швидкістю; по важких підйомах з нерівномірною швидкістю з урахуванням використання кінетичної енергії поїзда.

У тих випадках, коли не є можливим реалізувати встановлені справжніми Правилами розрахункові значення, сили тяги локомотивів через обмеження маси поїзда, по довжині станційних колії, необхідності підвищення пропускної спроможності, зокрема ліній з переважним пасажирським рухом, умов уніфікації норми маси складу і т. п., допускається підвищення розрахункової швидкості при використанні повної потужності локомотива.

Для забезпечення стійкої роботи локомотивів на тих ділянках, де кліматичні умови значно змінюються залежно від пори року, розрахункову масу складу визначають для літнього і зимового періодів.

Маса складу розрахована по нормах Правил [1], повинна бути перевірена в випробувальних поїздах, що проводяться відповідно до інструктивних вказівок, що діють для цієї мети.

У тягових розрахунках, що виконуються при проектуванні нових залізниць і електрифікації діючих ліній, для визначення маси складу силу тяги електровозів слід приймати на 5%, а тепловозів на 7% менше розрахункової, передбаченої Правилами [1].

Маса складу пасажирських поїздів встановлюється УЗ по цілих напрямках залежно від категорії поїзда (швидкий, пасажирський і т. д.).

При визначенні швидкості руху і часу ходу поїзд слід приймати за матеріальну точку, в якій зосереджена вся його маса. Положення цієї точки слід умовно вважати в середині поїзда.

Якщо довжина важкого на даній ділянці підйому, характер прилеглих до нього елементів профілю шляху, швидкості руху за станом шляху, що допускаються, і розташування зупинних пунктів дозволяють встановити, що цей підйом не може бути подоланий з використанням кінетичної енергії поїзда, то такий підйом слід приймати розрахунковим ( $i_p$ ). Масу складу в цьому випадку визначають по формулі:

$$Q = \frac{F_{KP} - (\omega'_0 + i_p) \cdot P}{(\omega''_0 + i_p) \cdot g}, \quad (1.1)$$

де  $F_{KP}$  – розрахункова сила тяги локомотива, Н;  
 $\omega'_0$  – основний питомий опір локомотива, Н/кН;  
 $i_p$  – крутизна розрахункового підйому, ‰;  
 $P$  – розрахункова маса локомотива, т;  
 $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  
 $\omega''_0$  – основний питомий опір вагонів поїзда, Н/кН.

$$\omega'_0 = 1,9 + 0,01 \cdot V_p + 0,0003 \cdot V_p^2, \quad (1.2)$$

де  $V_p$  – розрахункова швидкість руху поїзда, км/год.

$$\omega''_0 = \alpha \cdot \omega''_{04КАЧ} + \beta \cdot \omega''_{04КОВЗ} + \gamma \cdot \omega''_{08}, \quad (1.3)$$

де  $\alpha, \beta, \gamma$  – відповідно частка 4-х вісних та 8-ми вісних вагонів у складі;  
 $\omega''_0$  – основний питомий опір вантажних вагонів, Н/кН.

$$\omega''_{04КОВЗ} = 0,7 + \frac{8 + 0,1 \cdot V_p + 0,0025 \cdot V_p^2}{q_0}, \quad (1.4)$$

$$\omega''_{04КАЧ} = 0,7 + \frac{3 + 0,1 \cdot V_p + 0,0025 \cdot V_p^2}{q_0}, \quad (1.5)$$

$$\omega''_{08КАЧ} = 0,7 + \frac{6 + 0,038 \cdot V_p + 0,0021 \cdot V_p^2}{q_0}, \quad (1.6)$$

де  $q_0$  - навантаження на вісь вагону, т.

Якщо характер профілю шляху, розташування зупинних пунктів і швидкості руху, що допускаються, за станом шляху на ділянці не дозволяють надійно визначити розрахунковий затяжний підйом, то масу складу розраховують методом підбору.

Для цього слід задатися розрахунковим підйомом по значенню меншим, ніж найкрутіший на ділянці, визначити по ньому масу складу по формулі (1.1) для даної серії локомотива і розрахувати питомі прискорюючі сили поїзда. Отриману масу складу перевіряють на проходження поїздом ділянок профілю шляху з підйомами більшої крутизни, ніж розрахунковий підйом, враховуючи при цьому використання кінетичної енергії поїзда; перевіряють графічним способом або аналітично.

При графічній перевірці, використовуючи діаграми прискорюючих сил поїзда, необхідно визначити швидкість руху для всіх перегонів, на яких крутизна

підйомів за випрямленим профілем перевищує крутизну підйому, прийняту для розрахунку маси складу. Побудову залежності  $v=v(s)$  слід починати з елементу профілю, де швидкість руху поїзда може бути наперед відома (наприклад, від роздільного пункту, де була зупинка; від рівномірної швидкості, коли перед підйомом, що перевіряється, є зтяжні елементи профілю; від пункту, де маєтся обмеження швидкості, і т. ін.).

## 2 ПЕРЕВІРКА МАСИ ПОЇЗДА НА РУШАННЯ З МІСЦЯ

Перевірка розрахованої маси поїзда на рушання з місця на роздільних пунктах заданої ділянки виконується по формулі:

$$Q_{PYIII} = \frac{F_{KPYIII}}{(\omega_{PYIII} + i_{PYIII}) \cdot g} - P, \quad (2.1)$$

де  $F_{KPYIII}$  – сила тяги локомотива при рушанні складу з місця, Н;

$i_{PYIII}$  – крутизна найбільш важкого елемента на роздільних пунктах (станціях) заданої ділянки (у бік руху), ‰;

$\omega_{PYIII}$  – питомий опір поїзда при рушанні з місця (на майданчику), Н/кН;

Величина  $\omega_{PYIII}$  обчислюється за формулою:

$$\omega_{PYIII} = \alpha \cdot \omega_{PYIII}^{4KAЧ} + \beta \cdot \omega_{PYIII}^{4KOB3} + \gamma \cdot \omega_{PYIII}^{8KAЧ}, \quad (2.2)$$

- при підшипниках ковзання

$$\omega_{PYIII} = \frac{142}{q_0 + 7}, \quad (2.3)$$

- при підшипниках качіння

$$\omega_{PYIII} = \frac{28}{q_0 + 7}, \quad (2.4)$$

Навантаження на вісь 4-х вісного вагону при підшипниках ковзання  $q_{04}^{KOB3} = 19,5$  т.

Навантаження на вісь 4-х вісного вагону при підшипниках качіння  $q_{04}^{KAЧ} = 22$  т.

Навантаження на вісь 8-ми вісного вагону при підшипниках качіння  $q_{08}^{KAЧ} = 20,75$  т.

Маса складу, розрахована в п. 1, повинна бути менше маси складу, отриманої по формулі (2.1), тобто  $Q < Q_{PVШ}$ .

Силу тяги локомотивів при кратній тязі приймати 100% розрахунковою; для підштовхуючих локомотивів (у хвості поїзда)  $F_K$  також приймати 100% розрахунковою.

У разі визначення маси складу при кратній тязі з локомотивами різних серій розрахункову швидкість приймати рівній розрахунковій швидкості локомотива, у якого вона більша.

Для попередження розриву поїздів найбільша сумарна сила тяги локомотивів, що знаходяться в голові поїзда, при рушанні поїзда з місця визначається виходячи з максимально допустимого подовжнього зусилля на автозчепленні при рушанні, рівного 95 тс, а найбільша сумарна сила тяги при розгоні і русі по важкому підйому визначається виходячи з максимально допустимого подовжнього зусилля на автозчепленні, рівного 130 тс.

Для забезпечення стійкості вагонів від вичавлювання повздовжніми силами при підштовхуванні або електричному гальмуванні локомотивами, що знаходяться в голові поїзда, найбільші значення сил тяги підштовхуючих локомотивів і сил електричного гальмування визначаються виходячи з максимально допустимих подовжніх стискаючих сил, залежних від типу і ступеня завантаження вагонів, що знаходяться в поїзді, з урахуванням опору руху локомотивів.

### 3 ПЕРЕВІРКА МАСИ ПОЇЗДА ЗА ДОВЖИНОЮ ПРИЙМАЛЬНО-ВІДПРАВНИХ КОЛІЙ

Довжина поїзда  $l_{\Pi}$  не повинна перевищувати корисної довжини приймально-відправних колій  $l_{ПВК}$  на ділянках оберту даного поїзда (з урахуванням допуску 10 м на установку поїзда), тобто  $l_{\Pi} \leq l_{ПВК}$ .

Щоб виконати перевірку маси поїзда за довжиною приймально-відправних колій, необхідно визначити кількість вагонів у складі, довжину поїзда і порівняти цю довжину з довжиною приймально-відправних колій станцій.

Кількість вагонів у складі вантажного поїзда:

$$а) \quad 8\text{-вісних} \quad m_8 = \frac{\gamma \cdot Q}{q_8^{КАЧ}}, \text{ ваг.} \quad (3.1)$$

$$б) \quad 4\text{-вісних ковзання} \quad m_4^{КОВЗ} = \frac{\beta \cdot Q}{q_4^{КОВЗ}}, \text{ ваг.} \quad (3.2)$$

$$в) \quad 4\text{-вісних качіння} \quad m_4^{КАЧ} = \frac{\alpha \cdot Q}{q_4^{КАЧ}}, \text{ ваг.} \quad (3.3)$$

Маса бруто 8-вісних вагонів при підшипниках качіння  $q_8^{КАЧ} = 166$  т.

Маса бруто 4-вісних вагонів при підшипниках качіння  $q_4^{КАЧ} = 88$  т.

Маса бруто 4-вісних вагонів при підшипниках ковзання  $q_4^{КОВЗ} = 78$  т.

Довжини вагонів приймаються рівними: 4-вісного – 15 м., 6-вісного – 17 м., 8-вісного – 20 м. Довжина заданого локомотива приймається згідно вихідних даних.

Таким чином загальна довжина поїзда визначається по формулі:

$$l_{\Pi} = 20 \cdot m_8 + 17 \cdot m_6 + 15 \cdot m_4 + l_{\text{Л}} + 10 \quad (3.4)$$

Поїзд приймається на станції з довжиною приймально-відправних колій  $l_{\text{ПВК}}$  згідно вихідних даних. Порівняємо довжину поїзда з довжиною приймально-відправних колій:

$$l_{\Pi} \leq l_{\text{ПВК}}$$

Якщо довжина поїзда менше довжини приймально-відправних колій, то перевірка маси поїзда за довжиною приймально-відправних колій виконана. Якщо довжина поїзда більше довжини приймально-відправних колій, необхідно виконати перерахунок маси складу з метою зменшення кількості вагонів у поїзді.

#### 4 СПРЯМЛЕННЯ ПРОФІЛЮ ШЛЯХУ

Для обліку впливу кривих і схилів шляху на опір руху поїзда при розрахунку маси складу, визначенні швидкості руху і часу ходу поїзда необхідно випрямляти подовжній профіль і план шляху. При цьому криві в плані шляху замінювати фіктивними підйомами в межах випрямлених елементів.

Елементи профілю і плану колій зупинних пунктів з елементами прилеглих перегонів не випрямляють. Випрямляти дозволяється тільки близькі по значенню ухилу елементи профілю одного знаку. Якщо між сусідніми елементами дійсного профілю, що мають великий протяг, розташований короткий елемент (менший довжини поїзда), схил, що різко відрізняється по значенню, то він випрямляється з сусіднім елементом, ближчим по схилу.

Спрявлення профілю шляху виконується за формулою:

$$S_C = S_1 + S_2 + \dots + S_n, \quad (4.1)$$

де  $S_C$  - довжина елемента, який спрямляють, м.

Можливість спрявлення перевіряють для кожного елемента дійсного профілю шляху, що входить у ділянку, що спрямляється, по формулі:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}, \quad (4.2)$$

де  $S_i$  - довжина будь-якого елемента дійсного профілю шляху, що входить в спрямлений елемент, м;

$\Delta i$  - абсолютна різниця між фіктивним схилом спрямленого елемента і дійсним схилом окремого (що перевіряється) елемента, за скороченим повздовжнім профілем шляху, ‰.

Схил (крутизну) елемента  $i'_C$ , що випрямляється, в повздовжньому профілі шляху слід визначати за формулою:

$$i'_C = \frac{i_1 \cdot S_1 + i_2 \cdot S_2 + \dots + i_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}, \quad (4.3)$$

де  $i_i$  - схил (крутизна) кожного з елементів профілю, що входять в ділянку, що спрямляється, ‰;

$S_i$  - довжина кожного з елементів профілю, що входять в ділянку, що спрямляється, м.

Абсолютна величина різниці  $\Delta i$  між схилом спрямленої ділянки і схилом елемента, що перевіряється, визначається за формулою:

$$\Delta i = |i'_C - i_i|, \quad (4.4)$$

Крутизну спрямленої ділянки в плані шляху за наявності кривих в межах цього елемента:

- для експлуатованих колій визначати по формулах:

$$i''_C = \frac{700}{S_C} \sum \frac{S_{KPi}}{R_i} \quad (4.5)$$

$$i''_C = 12,2 \cdot \frac{\alpha}{S_C} \quad (4.6)$$

$$i_C = i'_C + i''_C \quad (4.7)$$

Для розрахунків, що вимагають підвищеної точності, і при проектуванні залізниць дозволяється крутизну спрямленої ділянки визначати за формулами:

$$i''_C = \frac{\sum \left( \frac{200}{R_i} + 1,5 \cdot \tau_i \right) \cdot S_{KPi}}{S_C}, \quad (4.8)$$

або

$$i''_C = \frac{\sum (200 + 1,5 \cdot \tau_i \cdot R_i) \cdot \alpha_i^0}{57,3 \cdot S_C}, \quad (4.9)$$

де  $S_{KP}$ ,  $R_i$  - довжина і радіус даної кривої в межах елемента, що спрямляється, м;

$\alpha$  - центральний кут даної кривої в межах елемента, що спрямляється, град.;

$\tau_i$  - значення непогашеного прискорення в кривій, м/с<sup>2</sup>.

Приклад спрямлення повздовжнього профілю шляху наведено нижче.

### Профіль № 11

№ елемента	Кругизна елементів $i$ , ‰	Довжина елементів $S$ , м	Криві	
			$R$ , м $\alpha$ , град.	$S_{KP}$ , м
1	0,0	1500		
2	-7,0	900		
3	0,0	500		
4	-5,0	1300		
5	0,0	1100		
6	-4,0	1000	950	500
7	0,0	800		
8	-2,0	500	25 <sup>0</sup>	1200
9	0,0	400		
10	-4,0	650		
11	-7,0	3500		
12	-10,5	1500	2000	550
13	0,0	400		
14	+11,0	1200		
15	0,0	500		
16	+29,0	3300	850	1000
17	+2,0	1000		
18	-4,0	500	20 <sup>0</sup>	1300
19	-3,0	1000		
20	0,0	750	1200	550
21	+6,0	650		
22	+9,0	1500		
23	+1,5	800		
24	0,0	600	1800	300
25	+2,0	1000		
26	0,0	1450		

Спрямлення:

$$1) i_6 = -4,0 \text{ ‰} \quad S_6 = 1000 \text{ м} \quad R_6 = 950 \text{ м} \quad S_{KP} = 500 \text{ м}$$

$$i''_{C6} = \frac{700}{S_C} \sum \frac{S_{KPi}}{R_i} = \frac{700}{1000} \cdot \frac{500}{950} = 0,368 \text{ ‰}$$

$$\begin{array}{llll}
 2) \ i_7 = 0,0 \text{ ‰} & S_7 = 800 \text{ м} & & \\
 \ i_8 = -2,0 \text{ ‰} & S_8 = 500 \text{ м} & \alpha_9 = 25^\circ & S_{KP} = 1200 \text{ м} \\
 \ i_9 = 0,0 \text{ ‰} & S_9 = 400 \text{ м} & & 
 \end{array}$$

$$S_C = 800 + 500 + 400 = 1700 \text{ м}$$

$$i'_C = \frac{0 \cdot 800 + (-2,0) \cdot 500 + 0 \cdot 400}{1700} = -0,59 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_7 = |i'_C - i_7| = |-0,59 - 0,0| = 0,59 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_8 = |i'_C - i_8| = |-0,59 - (-2,0)| = 1,41 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_9 = |i'_C - i_9| = |-0,59 - 0,0| = 0,59 \text{ ‰}$$

$$S_7 = 800 \leq \frac{2000}{0,59} = 3389,8 \text{ м} - \text{задовольняе}$$

$$S_8 = 500 \leq \frac{2000}{1,41} = 1418,44 \text{ м} - \text{задовольняе}$$

$$S_9 = 400 \leq \frac{2000}{0,59} = 3389,8 \text{ м} - \text{задовольняе}$$

} спрямилися

$$i''_{C8} = 12,2 \cdot \frac{\alpha}{S_C} = 12,2 \cdot \frac{25}{1700} = 0,179 \text{ ‰}$$

$$i_C = i'_C + i''_{C8} = -0,59 + 0,179 = -0,411 \text{ ‰}$$

$$\begin{array}{llll}
 3) \ i_{10} = -4,0 \text{ ‰} & S_{10} = 650 \text{ м} & & \\
 \ i_{11} = -7,0 \text{ ‰} & S_{11} = 3500 \text{ м} & & \\
 \ i_{12} = -10,5 \text{ ‰} & S_{12} = 1500 \text{ м} & R_{12} = 2000 \text{ м} & S_{KP} = 550 \text{ м}
 \end{array}$$

$$S_C = 650 + 3500 + 1500 = 5650 \text{ м}$$

$$i'_C = \frac{-4 \cdot 650 + (-7,0) \cdot 3500 + (-10,5) \cdot 1500}{5650} = -7,58 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{10} = |i'_C - i_{10}| = |-7,58 - (-4,0)| = 3,58 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{11} = |i'_C - i_{11}| = |-7,58 - (-7,0)| = 0,58 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{12} = |i'_C - i_{12}| = |-7,58 - (-10,5)| = 2,92 \text{ ‰}$$

$$S_{10} = 650 \leq \frac{2000}{3,58} = 558,67 \text{ м} - \text{не задовольняє}$$

$$S_{11} = 3500 \leq \frac{2000}{0,58} = 3448,3 \text{ м} - \text{не задовольняє}$$

$$S_{12} = 1500 \leq \frac{2000}{2,92} = 684,93 \text{ м} - \text{не задовольняє}$$

не спрямилися

$$i''_{C12} = \frac{700}{S_C} \sum \frac{S_{KPi}}{R_i} = \frac{700}{1500} \cdot \frac{550}{2000} = 0,128 \text{ ‰}$$

$$4) i_{16} = 29,0 \text{ ‰} \quad S_{16} = 3300 \text{ м} \quad R_{16} = 850 \text{ м} \quad S_{KP} = 1000 \text{ м}$$

$$i''_{C16} = \frac{700}{S_C} \sum \frac{S_{KPi}}{R_i} = \frac{700}{3300} \cdot \frac{1000}{850} = 0,25 \text{ ‰}$$

$$5) i_{18} = -4,0 \text{ ‰} \quad S_{18} = 500 \text{ м} \quad a_{18} = 20^\circ \quad S_{KP} = 1300 \text{ м}$$

$$i_{19} = -3,0 \text{ ‰} \quad S_{19} = 1000 \text{ м}$$

$$i_{20} = 0,0 \text{ ‰} \quad S_{20} = 750 \text{ м} \quad R_{20} = 1200 \text{ м} \quad S_{KP} = 550 \text{ м}$$

$$S_C = 500 + 1000 + 750 = 2250 \text{ м}$$

$$i'_C = \frac{-4 \cdot 500 + (-3,0) \cdot 1000 + 0 \cdot 750}{2250} = -2,22 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{18} = |i'_C - i_{18}| = |-2,22 - (-4,0)| = 1,78 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{19} = |i'_C - i_{19}| = |-2,22 - (-3,0)| = 0,78 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{20} = |i'_C - i_{20}| = |-2,22 - 0,0| = 2,22 \text{ ‰}$$

$$S_{18} = 500 \leq \frac{2000}{1,78} = 1123,6 \text{ м} - \text{задовольняє}$$

$$S_{19} = 1000 \leq \frac{2000}{0,78} = 2564,1 \text{ м} - \text{задовольняє}$$

$$S_{20} = 750 \leq \frac{2000}{2,22} = 900,9 \text{ м} - \text{задовольняє}$$

спрямилися

$$i''_{C18} = 12,2 \cdot \frac{\alpha}{S_C} = 12,2 \cdot \frac{20}{2250} = 0,108 \text{ ‰}$$

$$i''_{C20} = \frac{700}{S_C} \sum \frac{S_{KPi}}{R_i} = \frac{700}{2250} \cdot \frac{550}{1200} = 0,142 \text{ ‰}$$

$$i_C = i'_C + i''_C = -2,22 + 0,108 + 0,142 = -1,97 \text{ ‰}$$

$$\begin{aligned} 6) \quad i_{21} &= 6,0 \text{ ‰} \\ i_{22} &= 9,0 \text{ ‰} \end{aligned}$$

$$S_{21} = 650 \text{ м}$$

$$S_{22} = 1500 \text{ м}$$

$$S_C = 650 + 1500 = 2150 \text{ м}$$

$$i'_C = \frac{6 \cdot 650 + 9 \cdot 1500}{2150} = 8,09 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{21} = |i'_C - i_{21}| = |8,09 - 6,0| = 2,09 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{22} = |i'_C - i_{22}| = |8,09 - 9,0| = 0,91 \text{ ‰}$$

$$S_{21} = 650 \leq \frac{2000}{2,09} = 956,9 \text{ м} - \text{задовольняє}$$

$$S_{22} = 1500 \leq \frac{2000}{0,91} = 2197,8 \text{ м} - \text{задовольняє}$$

} спрямилися

$$\begin{aligned} 7) \quad i_{23} &= 1,5 \text{ ‰} \\ i_{24} &= 0,0 \text{ ‰} \\ i_{25} &= 2,0 \text{ ‰} \end{aligned}$$

$$S_{23} = 800 \text{ м}$$

$$S_{24} = 600 \text{ м}$$

$$S_{25} = 1000 \text{ м}$$

$$R_{25} = 1800 \text{ м}$$

$$S_{KP} = 300 \text{ м}$$

$$S_C = 800 + 600 + 1000 = 2400 \text{ м}$$

$$i'_C = \frac{1,5 \cdot 800 + 0 \cdot 600 + 2,0 \cdot 1000}{2400} = 1,33 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{23} = |i'_C - i_{23}| = |1,33 - 1,5| = 0,17 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{24} = |i'_C - i_{24}| = |1,33 - 0,0| = 1,33 \text{ ‰}$$

$$\Delta i_{25} = |i'_C - i_{25}| = |1,33 - 2,0| = 0,67 \text{ ‰}$$

$$S_{23} = 800 \leq \frac{2000}{0,17} = 11764,7 \text{ м} - \text{задовольняє}$$

$$S_{24} = 600 \leq \frac{2000}{1,33} = 1503,76 \text{ м} - \text{задовольняє}$$

$$S_{25} = 1000 \leq \frac{2000}{0,67} = 2985,07 \text{ м} - \text{задовольняє}$$

} спрямилися

$$i''_{C24} = \frac{700}{S_C} \sum \frac{S_{KPi}}{R_i} = \frac{700}{2400} \cdot \frac{300}{1800} = 0,049 \text{ ‰}$$

$$i_C = i'_C + i''_C = 1,33 + 0,049 = 1,379 \text{ ‰}$$

## Станція А

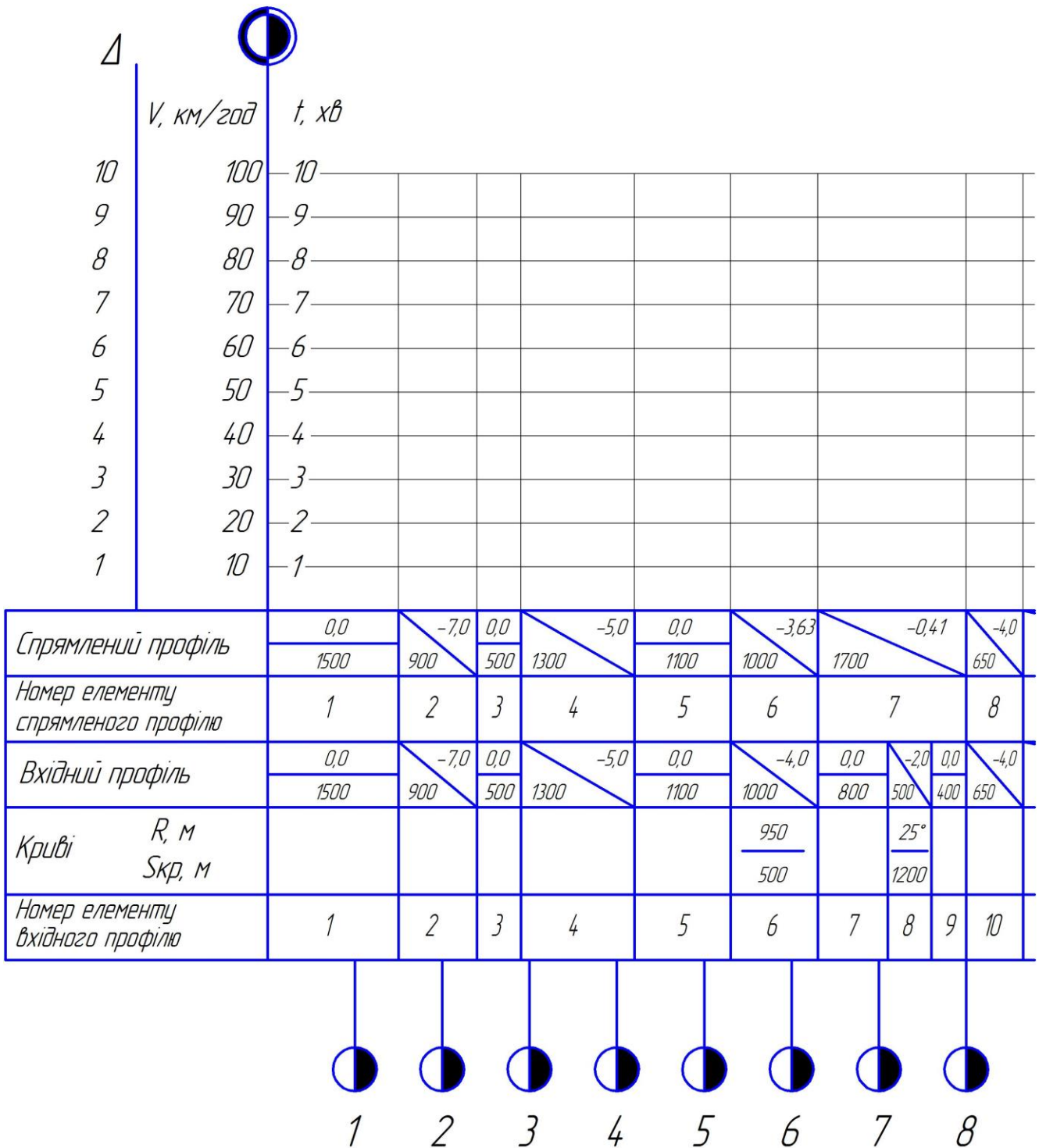


Рисунок 4.1 – Спрямлення профілю шляху

Таблиця 4.1 – Спрямлення профілю №11

№ елемента	Крутизна елементів $i$ , ‰	Довжина елементів $S$ , м	Криві		Довжина спрямленої ділянки $S_C$ , м	Крутизна спрямленої ділянки $i'_C$ , ‰	Фіктивний підйом від кривих $i''_C$ , ‰	Сумарна крутизна спрямленої ділянки $i_C = i'_C + i''_C$ , ‰	№ спрямлених ділянок
			$R$ , м $\alpha$ , град.	$S_{кр}$ , м					
1	0,0	1500			Станція А		0,0	1	
2	-7,0	900					-7,0	2	
3	0,0	500					0,0	3	
4	-5,0	1300					-5,0	4	
5	0,0	1100					0,0	5	
6	-4,0	1000	950	500			0,368	-3,632	6
7	0,0	800			1700	-0,59	0,179	-0,411	7
8	-2,0	500	25°	1200					
9	0,0	400							
10	-4,0	650						-4,0	8
11	-7,0	3500						-7,0	9
12	-10,5	1500	2000	550			0,128	-10,372	10
13	0,0	400						0,0	11
14	+11,0	1200						+11,0	12
15	0,0	500						0,0	13
16	+29,0	3300	850	1000			0,25	+29,25	14
17	+2,0	1000						+2,0	15
18	-4,0	500	20°	1300	2250	-2,22	0,108	-1,97	16
19	-3,0	1000							
20	0,0	750	1200	550					
21	+6,0	650			2150	8,09		8,09	17
22	+9,0	1500							
23	+1,5	800			2400	1,33	0,049	1,38	18
24	0,0	600	1800	300					
25	+2,0	1000							
26	0,0	1450			Станція Б			0,0	19

## 5 ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ПИТОМИХ РІВНОДЮЧИХ СИЛ

Складаємо таблицю для трьох режимів руху поїзда прямою горизонтальною ділянкою:

- для режиму тяги  $f_K - w_0 = f_1(V)$ ;
- для режиму холостого ходу  $w_{0X} = f_2(V)$ ;
- для режимів гальмування:
  - при службовому регульовальному гальмуванні:  $w_{0X} + 0,5 \cdot b_T = f_3(V)$ ;
  - при екстремому гальмуванні:  $w_{0X} + b_T = f_4(V)$ .

Розрахуємо рядок для швидкості з інтервалом в 10 км/год. Результати розрахунків прискорюючих і уповільнюючих сил, виконаних за допомогою ЕОМ, навести у вигляді таблиці. Приклад оформлення результатів розрахунків наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Результати розрахунків прискорюючих і уповільнюючих сил

$V$ , км/год	$F_k$ , Н	$w_0'$ , Н/кН	$w_0$ , Н	$w_0''$ , Н/кН	$w_0'''$ , Н	$w_0$ , Н	$F_k - w_0$ , Н	$f_k - w_0$ , Н/кН	$w_x'$ , Н/кН	$w_x$ , Н	$w_{0x}$ , Н/кН	$w_{0x}$ , Н/кН	$f_{кр}$	$b_T$ , Н/кН	$w_{0x} + 0,5b_T$ , Н/кН
0															
10															
20															
30															
...															
100															

Якщо питома прискорююча сила позитивна, то поїзд рухається прискорено і його прискорення залежить від сили  $f_V$ . При постійному позитивному значенні  $f_V$  рух буде рівноприскореним. Прискорений рух можливий в режимі тяги, коли сила тяги перевищує сили опору руху, в режимах вибігу і гальмування, коли складова ваги поїзда на спуску перевищує сили опору руху або суму гальмівної сили і сил опору руху.

Якщо питома прискорююча сила негативна (уповільнююча сила), то рух поїзда буде сповільненим, а при постійній негативній силі ( $-f_V$ ) - рівноуповільненим. Швидкість в режимі тяги знижується, коли сила тяги виявляється менше сил опору руху, а в режимах вибігу і гальмування - при русі горизонтальною ділянкою або підйому або коли сили опору руху або сума гальмівної сили і сил опору руху на спуску виявляються більше, ніж складова ваги поїзда.

Якщо питома прискорююча сила дорівнює нулю, то поїзд рухається рівномірно (окремий випадок  $V = 0$ ). У режимі тяги це відбувається при рівності сил тяги і сил опору руху. У режимах вибігу і гальмування швидкість постійна, якщо сили опору руху або сума гальмівної сили і сил опору руху такі, що дорівнюють вазі поїзда на спуску.

При русі поїзда прискорююча сила змінюється у зв'язку із зміною режиму роботи локомотива, плану і профілю шляху, швидкості руху, сили і напрямку вітру і т.д. Тому зазвичай поїзд йде прискорено або сповільнено і лише в окремих випадках рівномірно.

Питомі прискорюючі або уповільнюючі сили, що діють на поїзд при різних швидкостях, зазвичай приводять у вигляді графіків  $f_V(V)$  для руху по прямолінійному горизонтальному шляху без урахування додаткового опору руху. Такі графіки називають діаграмою питомих прискорюючих (уповільнюючих) сил. На графіках питомих сил тяги  $f_k$ , сил опору руху  $w_0$ ,  $w_{0x}$  і гальмівної сили  $b_T$  залежно від швидкості (мал. 5.1) для зручності подальших побудов питомі прискорюючі сили відкладають ліворуч від початку координат, уповільнюючі — праворуч. Крива питомих прискорюючих сил в режимі тяги (суцільна лінія  $f_k - w_0$ ) отримана відніманням з  $f_k$  при кожній швидкості значень  $w_k$  (штрихові лінії). У режимі вибігу використовують криву питомих уповільнюючих

сил  $w_{0x}$  (V) (суцільна лінія). Для режиму механічного гальмування її отримують, складаючи питомі гальмівну силу  $b_T$  (штрихова лінія) і сили опору руху  $w_{0x}$  при кожній швидкості.

Зазвичай на діаграмі питомих прискорюючих (уповільнюючих) сил показують тільки суцільні криві і використовують їх для вирішення рівняння руху поїзда. При питомих силах, що змінюються, вирішувати це рівняння складно, тому в розрахунках їх замінюють в кожному інтервалі швидкостей середніми значеннями.

На рис. 5.1 показаний перехід від питомих прискорюючих сил, що діють на поїзд при русі по горизонтальному прямолінійному шляху (лінія  $ad'm$ ) до середніх значень в кожному інтервалі швидкостей. У інтервалі швидкостей від 0 до 10 км/год замість питомої прискорюючої сили, що змінюється по лінії  $ab$  від 8,2 до 7,6 Н/кН, використовують вертикальну лінію  $a''b'$ , рівну середньому значенню  $f_{УСЕР}=7,9$  Н/кН; у інтервалі швидкостей від 10 до 20 км/год використовують лінію  $b''c'$  замість  $bc$  і т.д. При переході від одного інтервалу швидкості до іншого  $f_{УСЕР}$  змінюється стрибком. Отже, криву  $f_y(v)$   $ad'm$  замінюють ступінчастою лінією  $a''b'b''c''c'' \dots l''m'$ .

Чим більше обраний інтервал швидкостей, тим більше відрізняються дійсні значення  $f_y$  від середніх  $f_{УСЕР}$  і знижується точність розрахунків. Із зменшенням інтервалів швидкостей зменшується відмінність середніх значень питомих прискорюючих сил від дійсних; у межі при нескінченно малих приростах ступінчаста лінія перетвориться на дійсну криву питомих прискорюючих сил. Проте при малих інтервалах швидкостей збільшується об'єм обчислень.

Відповідно до Правил тягових розрахунків інтервали швидкостей не повинні перевищувати: 10 км/год в режимі тяги від  $v = 0$  до виходу на ходову характеристику (лінія  $ad'$  на рис. 5.1), 5 км/год при роботі на ходових характеристиках (лінія  $d'm$ ), 10 км/год в режимі вибігу — у всьому діапазоні швидкостей; 5 км/год в режимі механічного гальмування в зоні від 50 до 0 км/год і 10 км/год в зоні вищих швидкостей.

При розрахунках ступінчасту лінію  $a''b' \dots l''m'$  не показують, а в кожному інтервалі швидкостей беруть точку на кривій питомих прискорюючих сил при середній швидкості. Оскільки  $f_{УСЕР}$  в межах кожного інтервалу приймають незмінним, рух поїзда в ньому виходить рівноприскореним або рівноуповільненим.

При визначенні розрахункового гальмівного коефіцієнта вантажних поїздів на спусках до 20‰ маса і гальмівні засоби локомотива зазвичай не враховуються; це спрощує розрахунки і не знижує їх точність.

Криві прискорюючих і уповільнюючих сил, отримані в результаті розрахунків на ЕОМ, наведені на рис. 5.1.

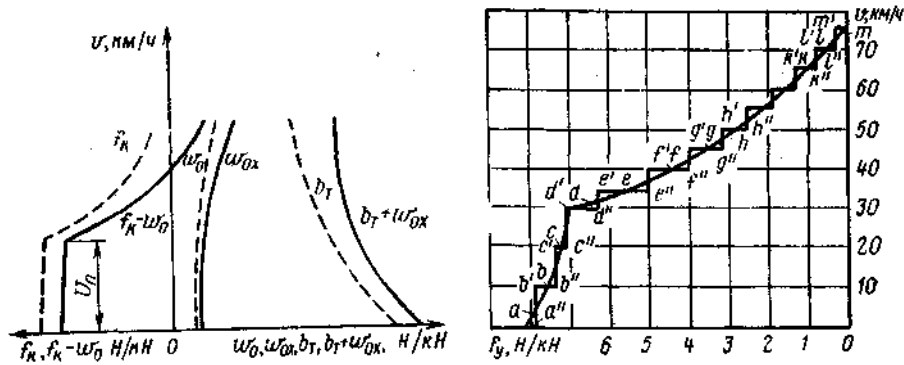


Рисунок 5.1 – Діаграма питомих прискорюючих і уповільнюючих сил

## 6 РІШЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ ЗАДАЧ

Рішення гальмівних задач зводиться до визначення довжини гальмівного шляху на спусках при заданих гальмівній силі і максимальній швидкості руху поїзда.

Гальмівний шлях поїзда  $S_T$  визначається за формулою:

$$S_T = S_{II} + S_D, \quad (6.1)$$

де  $S_{II}$  – підготовчий гальмівний шлях, м;

$S_D$  – дійсний гальмівний шлях, м.

Підготовчий гальмівний шлях визначається по формулі

$$S_{II} = 0,278 \cdot V_H \cdot t_{II}, \quad (6.2)$$

де  $V_H$  – швидкість поїзда на початку гальмування, км/год;

$t_{II}$  – час підготовки гальм до дії, с.

Для вантажних поїздів довжиною 200 вісей і менше при автоматичних гальмах і одиночних вантажних локомотивів час підготовки гальм  $t_{II}$  визначається за формулою:

$$t_{II} = 7 - \frac{10 \cdot (-i_C)}{1000 \cdot \phi_{KP} \cdot v_P}, \quad (6.3)$$

Для вантажних поїздів довжиною більше 200 вісей при автоматичних гальмах час підготовки гальм  $t_{II}$  визначається за формулою:

$$t_{II} = 10 - \frac{15 \cdot (-i_C)}{1000 \cdot \phi_{KP} \cdot v_P}, \quad (6.4)$$

де  $\phi_{KP}$  – розрахунковий коефіцієнт тертя гальмівних колодок;  
 $v_P$  – розрахунковий гальмівний коефіцієнт.

Дійсний гальмівний шлях розраховується за формулою:

$$S_D = \frac{4,17 \cdot (V_H^2 - V_K^2)}{b_T + \omega_{0X} + i_C}, \quad (6.5)$$

де  $V_H, V_K$  – початкова і кінцева швидкості поїзда, км/год.

$b_T$  – питома гальмівна сила, кгс/т;

$\omega_{0X}$  – питома основний опір руху поїзда на холостому ході, кгс/т.

При гальмуванні перед станцією і на спусках застосовується службове гальмування. Питома уповільнююча сила в цьому випадку розраховується по формулі:

$$f_3 = 0,5 \cdot b_T + \omega_{0X} \quad (6.6)$$

$$\omega_{0X} = \frac{\omega'_{0X} \cdot P + \omega''_0 \cdot Q}{P + Q}, \quad (6.7)$$

де  $P$  – зчіпна вага локомотива, т;

$Q$  – маса складу, т;

$\omega'_{0X}$  – основний питома опір руху локомотива на холостому ході, кгс/т;

$\omega''_0$  – основний питома опір руху вантажних вагонів, кгс/т.

$$\omega'_{0X} = 2,4 + 0,011 \cdot V_P + 0,00035 \cdot V_P^2 \quad (6.8)$$

$$b_T = 1000 \cdot \phi_{KP} \cdot v_P \quad (6.9)$$

Розрахунковий коефіцієнт тертя гальмівних колодок залежно від матеріалу, з якого виготовлена колодка, розраховується по формулах:

- для чавунних колодок:

$$\phi_{KP} = 0,27 \cdot \frac{V_H + 100}{5 \cdot V_H + 100} \quad (6.10)$$

- для композиційних колодок:

$$\phi_{KP} = 0,36 \cdot \frac{V_H + 150}{2 \cdot V_H + 150} \quad (6.11)$$

Розрахунковий гальмівний коефіцієнт визначається за формулою:

$$v_p = \frac{\sum K_p}{Q + P}, \quad (6.12)$$

де  $\sum K_p$  - розрахункове сумарне натиснення гальмівних колодок на вісь, тс.

$$\sum K_p = K_{p4} \cdot 4 \cdot m_4 + K_{p6} \cdot 6 \cdot m_6 + K_{p8} \cdot 8 \cdot m_8, \quad (6.13)$$

де  $K_{p4}$ ,  $K_{p6}$ ,  $K_{p8}$  - розрахункове натиснення гальмівних колодок на вісь відповідно чотирьох -, шести- та восьмивісних вагонів, тс;

$m_4$ ,  $m_6$ ,  $m_8$  - кількість відповідних гальмівних вагонів у складі, од.

## 7 ПОБУДОВА КРИВОЇ ШВИДКОСТІ $V=F(S)$

Всі побудови виконують у вибраних масштабах. У розрахунках приймають, що центр маси поїзда розташований на осі станції  $\Gamma$  (рис. 7.1), з якою і починають побудову кривої швидкості. Задаються першим інтервалом швидкостей від 0 до 10 км/год. Середня питома прискорююча сила береться при середній швидкості 5 км/год (крапка  $A$ ).

Відповідно до розглянутих раніше теоретичних обґрунтувань, прикладають лінійку до точок  $A$  і  $O$  (рис. 7.1), а до неї — трикутник однією стороною прямого кута з таким розрахунком, щоб інша сторона проходила через вісь станції  $\Gamma$  при  $V = 0$ , і проводять лінію  $A'B'$  перпендикулярно лінії  $AO$ . Лінія  $A'B'$  показує зміну швидкості на шляху в першому інтервалі швидкостей.

Для побудови відрізка кривої  $v$  (s) в інтервалі швидкостей від 10 до 20 км/год знаходять  $f_{\text{УСЕР}}$  при 15 км/год (точка  $B$ ) і прикладають лінійку до точок  $B$  і  $O$ . Проведений за допомогою трикутника перпендикуляр до лінійки від точки  $B'$  в межах другого інтервалу (лінія  $B'C'$ ) дає другий відрізок лінії  $v$ (s). Аналогічно будують відрізки  $C'D'$  і  $D'E'$ , використовуючи відповідно точки  $3$  і  $D$ . У зв'язку з тим що при швидкості 48 км/год крива питомих прискорюючих сил має злам, інтервал швидкостей беруть від 40 до 48 км/год. Лінійку прикладають до точки  $E$  (при  $v = 44$  км/год) і будують відрізок  $E'L'$  від 40 до 48 км/год.

Після точки  $L$  інтервал швидкості беруть не більше 5 км/год. Тут доцільно узяти інтервал швидкостей від 48 до 50 км/год (лінія  $L'M'$ ) і потім - від 50 до 55 км/год (лінія  $M'N'$ ). Точка  $N'$  отримана поблизу межі елементів і, якщо узяти інтервал 55-60 км/год, то лінія дійде до швидкості 60 км/год за межами першого

елементу профілю шляху, де повинен бути врахований додатковий опір від підйому  $i=3\%$ . В цьому випадку підбором знаходять такий приріст  $\Delta v$ , при якому поїзд досягає швидкості  $55 + \Delta v$ , км/год, якраз біля межі елементів. У кожному інтервалі  $\Delta v$  середню питому прискорюючу силу визначають при середній швидкості. На рис. 7.1 підбором отримано  $\Delta v = 3$  км/год, точка  $P$  узята при  $56,5$  км/год і точка  $P'$  - при  $v = 58$  км/год.

Далі побудови слід виконувати з урахуванням додаткового опору руху від підйому  $3\%$ . Оскільки  $w_i = i\%$ , отримуємо  $w_i = 3$  Н/кН. Це означає, що питомі прискорюючі сили  $f_v = f_k - w_0 - w_d$  будуть на  $3$  Н/кН менше, ніж ті, що діють при руху прямолінійним горизонтальним шляхом.

При побудові цю зміну питомих прискорюючих сил враховують, зміщуючи початок координат діаграми питомих прискорюючих сил при русі по підйому ліворуч на  $w_d = i\%$ , при русі по спуску — праворуч на  $-i\%$ . На графіку в цьому випадку лінійку прикладають не до точки  $0$ , а до нового початку координат, в нашому випадку до крапки, зміщеної вліво на  $3$  Н/кН.

Для того, щоб встановити, як змінюватиметься швидкість руху (зменшуватися або збільшуватися), необхідно з цієї точки провести в думках вертикаль до перетину з кривою  $f_k - w_0 = f(v)$  і визначити установлену швидкість руху: при  $f_k - w_0 = i = 3$  Н/кН вона рівна  $65$  км/год. Якщо швидкість, з якою підійшли до початку підйому  $i = 3\%$ , менше установленної швидкості, то при русі по підйому вона зростатиме, якщо більше — зменшуватися.

У нашому випадку  $v = 58$  км/год, тобто вона менше сталої швидкості, отже  $\Delta v$  потрібно брати у бік збільшення швидкості. У зв'язку з тим, що крива  $v(s)$  піде похило, потрібно знову підбирати  $\Delta v$ , щоб в кінці елемента  $i = 3\%$  швидкість досягла верхньої межі інтервалу  $\Delta v$ . В результаті підбору отримано  $\Delta v = 3$  км/год. Точку  $R$  знаходять при  $v = 59,5$  км/год і будують лінію  $P'R'$ . В кінці елемента швидкість дорівнює  $61$  км/год. На наступному елементі  $i = 8\%$  стала швидкість складає  $48$  км/год, отже, починаючи з  $61$  км/год, швидкість зменшуватиметься. Якщо прийняти  $\Delta v = 5$  км/год ( $61-56$  км/год), то лінійку прикладають до точки  $S$  при  $v = 58,5$  км/год і точки, де  $w_i = i\% = 8$  Н/кН і проводять лінію  $R'S'$ , потім аналогічно будують відрізок  $S'T'$  (використовуючи точку  $T$ ).

Далі слідує спуск  $4\%$ . На ньому, якщо швидкість руху мала, можна їхати в режимі тяги; при цьому швидкість інтенсивно зростатиме. Якщо швидкість руху висока, то буде швидко досягнуте її допустиме значення і доведеться включати гальма. В цьому випадку, а також коли поїзд наближається до станції або місця, де швидкість обмежена, доцільно перейти з тяги на вибіг. На вибігу використовують криву  $w_{0x}(v)$  при допустимому інтервалі швидкостей до  $10$  км/год. Підбором знаходять  $\Delta v = 9$  км/год ( $51-60$  км/год), а точку  $Q$  на кривій  $w_{0x}(v)$  при  $v = 55,5$  км/год. Точку на осі абсцис визначають з розрахунку  $w_i = i\% = -4$  Н/кН. Використовуючи ці точки, будують відрізок кривої швидкості  $T'Q'$ . Аналогічно можна будувати відрізки кривої швидкості і далі.

При включенні службового гальмування побудову лінії виконують на підставі діаграми уповільнюючих сил  $0,5b_T + w_{0x} = f(v)$  (рис. 7.2) в тому ж порядку, як і в

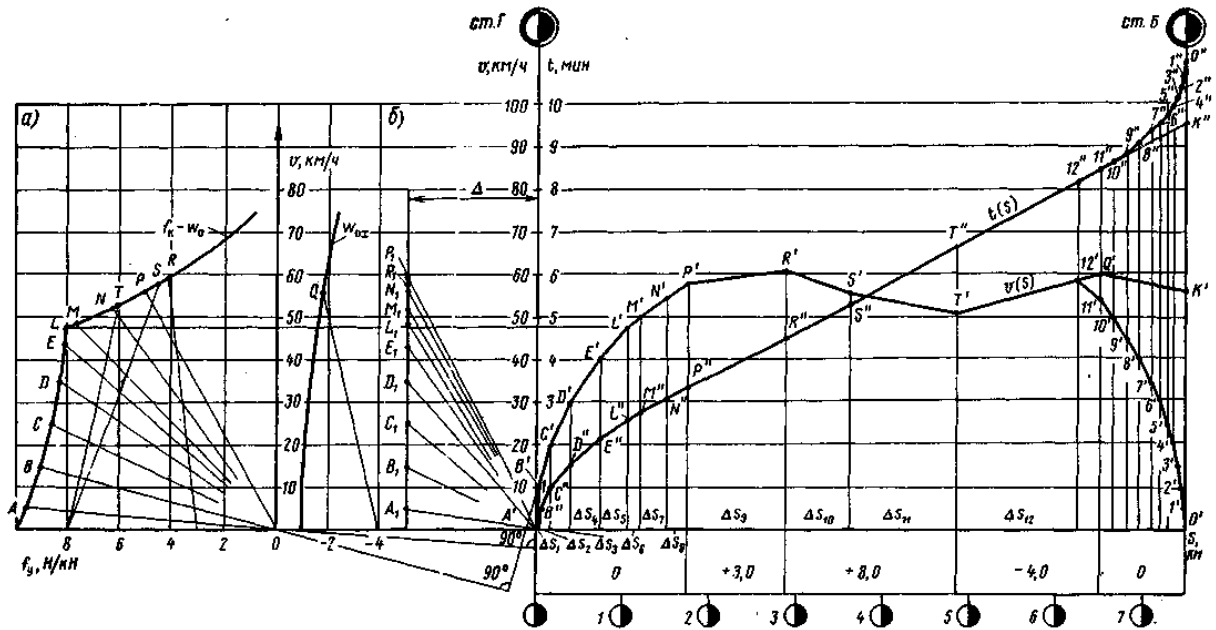


Рисунок 7.1 – Побудова кривих швидкості й часу як функції шляху

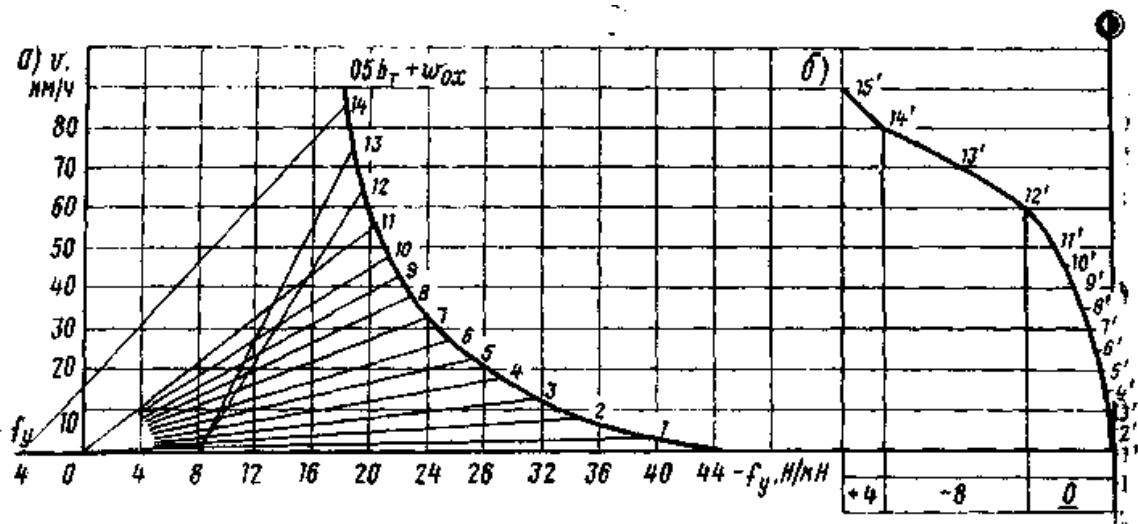


Рисунок 7.2 – Побудова графічним методом кривої швидкості при механічному гальмуванні

режимах тяги і вибігу. Якщо відоме місце зупинки поїзда або пройшло його з наперед відомою швидкістю, то важко встановити, де необхідно включати гальма. В цьому випадку побудову ведуть в зворотному порядку, починаючи з  $v = 0$  або з відомої швидкості. На рис. 7.2 лінії 1'—15' побудована, починаючи з точки 1'. Лінійку прикладають до точки 1 при  $v = 2,5$  км/год і до початку координат (див. рис. 7.2) і будують за допомогою трикутника відрізок 1'-2' на рис. 7.2 в зоні швидкостей від 0 до 5 км/год.

Аналогічно будують відрізки 2'-3' і т.д. Відрізок лінії  $v(s)$  12'-13' на спуску  $i = -8\%$  будують, приклавши лінійку до точки 12 і точки в думках зміщеної праворуч початку координат на  $w_i = -8\% = -8$  Н/кН і т.д.

Так само побудована лінія  $v(s)$  на рис.7.1 при гальмуванні перед станцією  $B$  від точки  $0'$  до точки  $11'$  і далі до перетину з лінією  $v(s)$   $T'Q'$  на вибігу (у крапці  $12'$ ). Отже, гальма повинні почати діяти в крапці  $12'$ .

У разі застосування механічного гальмування на зтяжних спусках для підтримки швидкості, близької до допустимої  $V_{\text{доп}}$ , криву  $v(s)$  доводиться будувати, використовуючи по черзі вибіг до  $V_{\text{доп}}$  і гальмування для зменшення швидкості. Такі цикли можуть повторюватися кілька разів. При цьому крива  $v(s)$  має пилкоподібний вигляд. Для зменшення об'єму побудов Правил тяглових розрахунків дозволяється замість побудови кривої швидкості проводити горизонтальну лінію при швидкості, меншою  $V_{\text{доп}}$  на величину  $A_v$ , яку беруть з табл. 7.1 залежно від крутизни спуску.

Таблиця 7.1 – Значення  $\Delta v$  на спусках

Поїзд	Значення $\Delta v$ , км/год на наступних спусках $i$ , ‰							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Вантажний	4	4	4	4	5	6	7	8
Пасажирський	2	2	3	4	6	7	8	9

На спусках крутизною до 4‰ величину  $\Delta v$  приймають рівною нулю.

У разі застосування електричного гальмування, будуючи криву  $v(s)$ , використовують гальмівні характеристики рекуперативного або реостатного гальмування, що дозволяють отримати встановлену швидкість на спуску. Крім того, враховують необхідність перевірки дії гальм, допустимі швидкості руху по конструкції рухомого складу і за умовами безпеки руху поїздів.

## 8 ПОБУДОВА КРИВОЇ ЧАСУ РУХУ ПОЇЗДА $T=F(S)$

Побудову кривої  $t(S)$  виконують на підставі кривої  $v(S)$ .

На рис. 7.1 ліворуч від початку координат на відстані  $\Delta$ , яка дорівнює 30 мм., проведена допоміжна вертикальна лінія, на яку переносять середні швидкості на кожному відрізку шляху  $\Delta s$ . На відрізку  $\Delta s_1$  швидкість змінювалася від 0 до 10 км/год, тобто  $i v_{\text{ср}} = 5$  км/год. Ця швидкість на допоміжній лінії відмічена точкою  $A_1$ . До неї і до початку координат прикладають лінійку і за допомогою трикутника проводять перпендикулярну лінію  $A'B''$  в межах  $\Delta s_1$ . У масштабі побудов — це час  $t_1 = 0,6$  хв.

У другому інтервалі швидкість змінювалася від 10 до 20 км/год. Середню швидкість 15 км/год переносять вліво і отримують точку  $B_1$ , яку сполучають з початком координат. Перпендикулярно до цієї лінії з точки  $B''$  проводять відрізок  $B''C''$  в межах другого відрізка шляху.

Аналогічно виконують подальші побудови, використовуючи середні швидкості руху (точки  $C_1, D_1, \dots, N_1, P_1, R_1$  і т. ін.). Середня швидкість не залежить від того, зростає швидкість руху або знижується.

Отримана залежність  $t(s)$  — крива  $A'B''C''...K''$  показує, скільки часу витрачає поїзд на проходження всієї ділянки або кожної його частини. Зазвичай криву  $t(s)$  будують в інтервалі 10 хв., а потім (щоб не йти вгору за межі креслення) продовжують від  $t = 0$ . Так, з рис. 7.1 б видно, що на рух від станції  $\Gamma$  до станції  $B$  без зупинки поїзда було потрібно 9,5 хв. У разі зупинки на станції  $B$  час ходу визначають по лінії  $A'B''...O''$ . Воно дорівнює 11 хв.

## 9 ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ РУХУ ПОЇЗДА НА ПЕРЕГОНАХ ТА ТЕХНІЧНОЇ ШВИДКОСТІ НА ДІЛЯНЦІ

Після побудови кривої часу визначається час руху поїзда на перегонах. Усі дані зводяться в таблицю 9.1, при чому розрахункові дані беруться з кривої  $t = f(S)$ , з точністю до 0,1 хв., а прийнятий для руху поїздів час руху по перегону округляється до 1 хв.

Таблиця 9.1 – Час руху поїзда на перегоні

Перегін	Довжина, км	Час руху, хв.	
		За розрахунком	Прийнятий для графіка руху
А – Б	17,50	23,6	24,0

Технічна швидкість руху поїзда по ділянці визначається за формулою:

$$g = \frac{L \cdot 60}{t}, \quad (9.1)$$

де  $L$  – довжина ділянки, км (відстань між осями станцій заданої ділянки);  
 $t$  – час руху на перегоні, хв.

## 10 ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ РУХУ ПОЇЗДА СПОСОБОМ РІВНОМІРНИХ ШВИДКОСТЕЙ

Час руху поїзда способом рівномірних швидкостей визначається за формулою:

$$t = \left( \sum \frac{60}{g_{\text{РІВН}}} \cdot S_C \right) + 3, \text{ хв} \quad (10.1)$$

де  $v_{\text{РІВН}}$  – рівномірна швидкість руху поїзду на ділянці спрямленого профілю, км/год;

$S_C$  – довжина спрямлених елементів профілю, км.

Всі розрахунки заносимо в таблицю 10.1

Таблиця 10.1 – Розрахунок часу ходу способом рівномірних швидкостей

Номер спрямлених елементів профілю	Довжина елементів $S_c$ , км	Крутизна схилу $I$ , ‰	$v_{\text{рівн}}$ , км/ГОД	$60/v_{\text{рівн}}$ , хв/км	$60 \cdot S_c / v_{\text{рівн}}$ , хв	Час на розгін і уповільнення, хв
1	2,00	+1,5	73	0,82	1,64	2
2	3,90	+0,58	74	0,81	3,16	
3	0,80	- 3,0	74	0,81	0,65	
4	8,55	- 9,2	73	0,82	6,93	
5	2,05	+ 1,58	73	0,81	1,68	
6	1,80	- 1,5	74	0,82	1,46	
7	2,20	+ 1,5	74	0,81	1,80	
8	1,70	- 4,7	74	0,82	1,38	
9	0,80	0,0	74	0,81	0,65	
10	1,25	+11,0	46	2,5	3,13	1

## 11 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

Залізничний транспорт, виконуючи великий об'єм перевізної роботи, витрачає велику кількість дизельного палива і електроенергії на тягу поїздів (до 18% дизельного палива і до 4,5% електроенергії, що виробляються в країні).

У курсовій роботі, згідно вихідних даних, розглянемо питання витрати палива тепловозами та електроенергії електровозами.

### 11.1 Визначення витрат палива тепловозами

Витрати дизельного палива тепловозом на ділянці [1] визначають за формулою:

$$E = G \cdot t_T + g_X \cdot t_X, \quad (11.1)$$

де  $G$  – витрати дизельного палива тепловозом у режимі тяги при 16-ій (ТЕЗ) або 15-ій (для інших тепловозів) позиції рукоятки контролера машиніста, кг/хв (табл.11.1);

$t_T$  – сумарний час роботи тепловоза в режимі тяги, хв;

$g_X$  – витрати палива тепловозом (режим холостого ходу і гальмування), кг/хв;

$t_X$  – сумарний час руху тепловоза в режимі холостого ходу і гальмування, хв.

Час роботи тепловоза  $t_T$  і  $t_X$  визначається з кривої часу  $t = f(S)$  по відмітках про зміну режиму роботи на кривій швидкості  $v = f(S)$ .

Питомі витрати палива на вимірювач в  $\text{кг}/10^4$  ткм визначають за формулою:

$$e = \frac{E}{Q \cdot L} \cdot 10^4, \quad (11.2)$$

де  $E$  – витрати палива на ділянці, кг;

$Q$  – маса складу, т;

$L$  – довжина ділянки, км.

Таблиця 11.1 – Витрати дизельного палива тепловозом,  $\text{кг}/\text{хв}$

Серія тепловоза	На режимі тяги $G$	На режимі холостого ходу і гальмування $g_x$
2М62	12,8	0,84
2ТЕ3	11,4	0,70
2ТЕ10М	16,8	0,76
2ТЕ121	20,7	0,54
2ТЕ116	15,7	0,50
3ТЕ10М	25,2	1,14
2ТЕ10В	16,8	0,76

Питомі витрати натурального палива, як правило, приводяться до питомих витрат умовного палива в  $\text{кг}/10^4$  ткм:

$$E_y = e \cdot E, \quad (11.3)$$

де  $e$  – еквівалент дизельного палива ( $e = 1,43$ ).

## 11.2 Визначення витрат електроенергії електровозами

Витрати електроенергії електровозами визначаються за паспортними характеристиками струму, споживаного електровозом на тягу поїзда і нормами витрати електроенергії на власні потреби.

Повна витрата електроенергії електровозом за поїздку складається з витрати електроенергії на тягу поїзда  $A_T$  і власні потреби  $A_{ВП}$ .

$$A = A_T + A_{ВП}. \quad (11.4)$$

1) для ділянки без додаткової зупинки:

$$A^{Б.З.} = A_T^{Б.З.} + A_{ВП.П.}^{Б.З.} \quad (11.5)$$

2) для ділянки з додатковою зупинкою:

$$A^{Д.З.} = A_T^{Д.З.} + A_{ВП.П.}^{Д.З.} \quad (11.6)$$

Витрата електроенергії на тягу поїзда електровозів змінного струму визначається наступним виразом:

$$A_T = \frac{U_c \cdot \sum I_{dacr} \cdot \Delta t}{1000 \cdot 60}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (11.7)$$

де  $U_c$  – напруга на струмоприймачі електровозу, В (при змінному струмі  $U_c=25000\text{В}$ );

$I_{dacr}$  – середнє значення активного струму, споживаного електровозом, А (визначається по струмових характеристиках для середньої технічної швидкості руху поїзда по ділянці);

$\Delta t$  – час роботи електровоза в режимі тяги, хв.

Витрата електроенергії електровозом на власні потреби визначається з виразу:

$$A_{в.п.} = r \cdot t_{зг.}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (11.8)$$

де  $r$  – середні витрати електроенергії на власні потреби електровоза,  $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{хв}$ ;

$t_{зг.}$  – загальний час роботи електровоза на ділянці, хв.

На підставі аналізу результатів тягових розрахунків, виконаних в учбових цілях, співвідношення часу роботи електровоза в режимі тяги і на холостому ході від загального часу роботи електровоза на ділянці для електровозів змінного струму знаходиться в межах 80...75% (режим тяги) і 20...25% (режим холостого ходу).

Питома витрата електроенергії визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{A \cdot 1000}{Q \cdot L_{уч.}}, \text{Вт} \cdot \text{год} / \text{Ткмбр} \quad (11.9)$$

1) для ділянки без додаткової зупинки:

$$\alpha = \frac{A^{Б.З.} \cdot 1000}{Q \cdot L_{дл.}}, \text{Вт} \cdot \text{год} / \text{Ткмбр} \quad (11.10)$$

2) для ділянки з додатковою зупинкою:

$$\alpha = \frac{A^{Д.З.} \cdot 1000}{Q \cdot L_{дл.}}, \text{Вт} \cdot \text{год} / \text{Ткмбр} \quad (11.11)$$

Таблиця 11.2 – Середні значення витрат електроенергії на власні потреби електровозів

Серія електровоза	Середні витрати електроенергії на власні потреби, г кВт·год/хв
ВЛ8	1,67
ВЛ10	2,08
ВЛ11 (3 секції)	3,12
ВЛ22 <sup>М</sup>	0,83
ВЛ23	1,25
ВЛ60 <sup>К</sup>	3,33
ВЛ80 <sup>Р</sup>	5,83
ВЛ82	4,17

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
2. Подвижной состав и основы тяги поездов: Учебное пособие/ Под ред. Осипова С. И. – М.: Транспорт, 1990. – 336 с.
3. Подвижной состав и тяга поездов / Под ред. Деева В. В., Фуфрянского А. Ф. – М.: Транспорт, 1979. – 248 с.
4. Матюнин И. Е. Подвижной состав промышленного транспорта: Учебное пособие. – Минск: Высшая школа, 1982. – 284 с.
5. Деев В. В. Тяга поездов. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.