

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Кафедра	Електричного транспорту та тепловозобудування
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	Електромеханіка (Електричний транспорт)
Форма навчання	Денна
Навчальна дисципліна	Вступ до спеціальності
Семестр	1

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ
ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.
ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ**

1. Розрахунок маси складу за умови, що поїзд рухається з рівноважною швидкістю на розрахунковому підйомі.

Максимальну масу вантажного складу, який заданий локомотив може переміщати по заданій ділянці визначають за умови, що швидкість руху поїзда не повинна опускатися нижче за розрахункову.

Значення маси локомотива, розрахункової швидкості V_p та відповідної швидкості розрахункової сили тяги $F_{кр}$ є паспортними характеристиками локомотива та наводяться, для кожної серії в «Правилах тягових розрахунків».

Тип локомотиву	Маса локомотиву, т	Сила тяги $F_{кр}$, Н	Швидкість V_p , км/Г
ВЛ60 ^к 6 осн.	138	368000	43,5
ВЛ80 ^р 8 осн.	192	512000	43,5
ВЛ82 ^м 8 осн.	200	497000	50,5
2ТЭ116 12 осн.	276	506000	24,2
ТЭП70 6 осн	131	170000	48,3
2М62 12 осн.	240	400000	20

Таблиця 1.1 – Паспортні показники локомотивів.

Щоб забезпечити рух поїзда зі швидкістю не нижче за розрахункову, масу складу вибирають таким чином, щоб на найважчому елементі профілю шляху, званому розрахунковим підйомом (іноді керівним), рівноважна швидкість дорівнювала розрахунковій. У цьому випадку, якщо швидкість на такому елементі досягне рівноважної, а підйом через свою протяжність ще не закінчився, швидкість до кінця елемента залишиться незмінною. Умовою визначення маси складу при цьому є рівність нулю прискорення руху поїзда при розрахунковій швидкості V_p на розрахунковому підйомі i_p . З рівняння руху поїзда слідує, що названа умова виконується за умови рівності рівнодіючої прикладених до поїзда сил нулю. Наприклад, під час роботи локомотива в розрахунковій точці:

$$F_{\partial} = F_k(V_p) - W_k(V_p) = 0, \quad (1.1)$$

где $F_k(V_p)$ – розрахункове значення сили тяги,

$W_k(V_p)$ – загальний опір руху поїзда при розрахунковій швидкості на розрахунковому підйомі.

Форма запису $W_k(V_p)$ говорить про те, що W_k не постійне число, а деяка функція від швидкості V_p , таким чином, значення $W_k(V_p)$ не постійне, а визначається за деякою формулою і залежить від V_p .

Загальний опір руху поїзда складається з основних та додаткових опорів руху локомотива та складу. Припустимо, що додатковий опір руху поїзда включає тільки опір від ухилу, тоді:

$$W_k(V_p) = P \cdot w'_0(V_p) + Q \cdot w''_0(V_p) + (P + Q) \cdot 10 \cdot i_p, \quad (1.2)$$

де P – маса локомотиву, т;

$w'_0(V_p)$ – основний питомий опір руху локомотива при розрахунковій швидкості, Н/т;

Q – маса складу, т, для розрахунку приймаємо масу одного вантажного вагона 80 т, масу одного пасажирського вагону – 50 т;

$w''_0(V_p)$ – основний питомий опір руху складу при розрахунковій швидкості, Н/т;

i_p – ухил у тисячних.

Підставивши рівняння (1.2) до (1.1) отримаємо:

$$F_k(V_p) - P \cdot w'_0(V_p) + Q \cdot w''_0(V_p) + (P + Q) \cdot 10 \cdot i_p \quad (1.3)$$

Перетворивши яке отримаємо:

$$Q = \frac{F_{кр} - P \cdot (w'_0(V_p) + 10 \cdot i_p)}{w''_0(V_p) + 10 \cdot i_p} \quad (1.4)$$

Таким чином, вираз (1.4) дозволяє розрахувати масу складу, який заданий локомотив може провести за розрахунковим підйомом будь-якої протяжності, не знижуючи швидкість руху нижче за розрахункову. Емпіричні вирази для обчислення значень основного питомого опору руху різних

одиниць рухомого складу наведені нижче:

1. Основний питомий опір руху чотиривісних вантажних вагонів на роликівих підшипниках на ланковій колії:

$$w''_0 = 7 + \frac{30+V+0.025 \cdot V^2}{q_0} \quad (1.5)$$

2. Основний питомий опір руху чотиривісних пасажирських вагонів на роликівих підшипниках на ланковій колії:

$$w''_0 = 7 + \frac{80+1.8 \cdot V+0.03 \cdot V^2}{q_0} \quad (1.6)$$

3. Основний питомий опір електровозів та тепловозів на роликівих підшипниках на ланковій колії:

$$w'_0 = 19 + 0.1 \cdot V + 0.003 \cdot V^2 \quad (1.7)$$

У формулах (1.5...1.7) V – швидкість руху, км/год, q_0 – навантаження 1 вісь вагона, т.

Якщо на аналізованому елементупрофілю шляху розташовується крива, слід це врахувати, замінивши криву фіктивним підйомом, який обчислюють відповідно до емпіричного виразу:

$$i_{кр} = \frac{700}{R_k}, \quad (1.8)$$

та підсумувавши це значення з величиною дійсного ухилу на розрахунковому підйомі, отримуємо значення $i_p = i + i_{кр}$ розрахункового підйому для підстановки у вираз (1.4). Тут R_k - радіус кривої в метрах.

Приклад завдання 1.

Завдання:

Визначити кількість вагонів поїзда, що складається з чотиривісних вантажних вагонів масою 80 т кожен, який тепловоз 2ТЕ116 може провести за ділянкою з розрахунковим підйомом, ухил якого $i_p = 8\text{‰}$ (8 тисячних), розташований у кривій радіусом $R_{кр} = 1500$ м. Шлях ланковий.

Рішення:

Розрахункова сила тяги та швидкість тепловоза 2ТЕ116 рівні відповідно $V_p = 24,2$ км/год, $F_{кр} = 506000$ Н (таблиця 1). Отже, основний питомий опір руху тепловоза:

$$w'_0 = 19 + 0.1 \cdot V + 0.003 \cdot V^2 = 19 + 0.1 \cdot 24.2 + 0.003 \cdot 24.2^2 \approx 23.2 \text{ Н/т}$$

Основний питомий опір руху завантажених чотиривісних вагонів на роликових підшипниках ланковим шляхом визначається відповідно до виразу.

$$w''_0 = 7 + \frac{30 + 1 \cdot V + 0.025 \cdot V^2}{q_0}$$

Маса розглянутих у прикладі вагонів, що припадає на одну вісь (осьове навантаження) $q_0 = 80/4 = 20$ т/вісь. Підставляючи значення розрахункової швидкості та осьового навантаження у вираз для основного питомого опору руху чотиривісних вагонів, отримаємо:

$$w''_0 = 7 + \frac{30 + 24.2 + 0.025 \cdot 24.2^2}{20} \approx 10.4 \text{ Н/т}$$

Розрахунковий підйом з урахуванням кривизни ділянки колії $i_p = 8 + \frac{700}{1500} \approx 8,5\text{‰}$.

Тоді відповідно до виразу (4) розрахункова маса складу:

$$Q = \frac{50600 - 276 \cdot (23,2 + 10 \cdot 8,5)}{10,4 + 10 \cdot 8,5} \approx 4991 \text{ т,}$$

Виходячи з маси вагонів по 80 т, отримуємо $N_{\text{ваг}} = 4991/80 = 62,38$, після округлення в меншу сторону отримуємо відповідь 62 вагони.

2. Перевірка маси складу на зрушення.

Значення маси локомотива, кількості осей локомотива та розрахункової сили тяги при зрушенні $F_{ктр}$ є паспортними характеристиками локомотива та наводяться для кожної серії у «Правилах тягових розрахунків».

Тип локомотиву	Кількість осей	Маса локомотиву, т	Сила тяги при зрушенні $F_{ктр}$, Н
ВЛ60 ^к	6	138	496800
ВЛ80 ^р	8	192	690800
ВЛ82 ^м	8	200	690200
2ТЭ116	12	276	813000
ТЭП70	6	131	294000
2М62	12	240	714000

Таблиця 2.1 – Паспортні показники локомотивів.

При зрушенні поїзда прискорювальна сила має бути більшою за нуль. Тільки цьому випадку (див. рівняння руху поїзда) прискорення позитивно, отже, можливе збільшення швидкості руху, тобто. зрушення поїзда. Рівнодіюча сила визначається як:

$$F_D = F_{ктр} - P \cdot w'_{тр} - Q \cdot w''_{тр} - 10 \cdot i_{тр} \cdot (P + Q) > 0 \quad (2.1)$$

де P и Q – маси локомотива та усіх вагонів відповідно;

$F_{ктр}$ – сила тяги локомотиву при зрушенні поїзду, Н;

$w'_{тр}$ – питомий опір торканню локомотива, Н/т;

$w''_{тр}$ – питомий опір торканню складу, Н/т;

$i_{тр}$ – ухил елемента профілю шляху, на якому відбувається торкання поїзда, ‰.

Для спрощення розрахунків приймаємо $w_{тр} = w'_{тр} = w''_{тр}$, тобто питомі опори торканню всього рухомого сосотава однакові.

Тоді:

$$F_D = F_{ктр} - (P + Q) \cdot (w_{тр} + 10 \cdot i_{тр}) > 0 \quad (2.2)$$

З (2.2) виходить, що:

$$Q < Q_{тр} = \frac{F_{ктр}}{w_{тр} + 10 \cdot i_{тр}} - P \quad (2.3)$$

Таким чином, маса складу Q не повинна перевищувати значення $Q_{тр}$, визначеного за умовами торкання поїзда на підйомі з ухилом $i_{тр}$.

Опір торканню приймають $w_{тр} = \frac{280}{q_0 + 7}$ для рухомого складу на роликівих підшипниках. Тут q_0 – середнє осьове навантаження.

Приклад завдання 2.

Завдання:

Необхідно перевірити, чи зможе рушити з місця поїзд, що складається з локомотива 2М62 та складу з 20 вантажних вагонів масою по 80т на підйомі 5‰

Рішення:

Відповідно до таблиці 1 локомотив 2М62 характеризується силою тяги при зрушенні $F_{ктр}$ 714000 Н, має масу 240 т, кількість осей - 12. 20 вантажних вагонів по 80 т мають масу 1600 т.

Сумарний опір зрушення складається з двох складових – опору зрушення локомотива та опору зрушення складу. Вони, у свою чергу, визначаються виходячи з навантаження на вісь одиниці рухомого складу, його маси та числа осей. Визначимо їх.

Для локомотива 2М62, що має масу 240 т і число осей 12 отримаємо питомий опір зрушення локомотива:

$$w'_{тр} = \frac{280}{q_0 + 7} = \frac{280}{\frac{240}{12} + 7} = 10,37 \text{ Н/т}$$

Для спрощення розрахунків, прийнемо питомий опір торканню локомотива (на вісь) рівним питомому опору торканню (на вісь) вагона, тобто $w_{\text{тр}} = w'_{\text{тр}} = w''_{\text{тр}}$, тоді отримаємо нерівність:

$$Q < Q_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{ктр}}}{w_{\text{тр}} + 10 \cdot l_{\text{тр}}} - P,$$
$$20 \cdot 80 < Q_{\text{тр}} = \frac{714000}{10,37 + 10 \cdot 5} - 240,$$
$$1600 < Q_{\text{тр}} = \frac{714000}{60,37} - 240,$$
$$1600 < Q_{\text{тр}} = 11587,$$

Нерівність виконується, отже, поїзд заданої конфігурації зможе рушити на заданому підйомі.

3. Перевірка складу за довжиною прийомно-відправних шляхів.

Значення довжин локомотивів та вагонів є паспортними характеристиками локомотива та наводяться для кожної серії у «Правилах тягових розрахунків».

Тип локомотива	Довжина, м
ВЛ60 ^к	20
ВЛ80 ^р	32
ВЛ82 ^м	32
2ТЭ116	36
ТЭП70	22
2М62	35

Таблиця 3.1 – Паспортні довжини локомотивів.

Для розрахунку довжину 4-вісного вантажного вагона приймемо рівною 14 м, довжину 8-вісного вантажного вагона – 21 м. Маса 4-вісного вантажного вагона дорівнює 80 т, маса 8-вісного – 140 т.

Маса поїзда, що розрахована за умовами руху з рівноважною швидкістю на розрахунковому підйомі та зрушенні може виявитися занадто великою для того, щоб поїзд вмістився в межах приймально-відправних шляхів. Для перевірки слід визначити довжину поїзда $l_{п}$:

$$l_{п} = l_{л} + l_{с} + 10, \quad (3.1)$$

де $l_{л}$ – Довжина локомотива, м;

$l_{с}$ – Довжина складу, м;

10 – допуск на неточність встановлення поїзда, м

Для визначення довжини складу необхідно визначити кількість вагонів. Число однотипних вагонів можна розрахувати, якщо відома, наприклад, частка маси цієї групи вагонів у загальній масі складу

$$n_i = \frac{\alpha_i \cdot Q}{Q_i}, \quad (3.2)$$

де α_i – частка маси i -ї групи вагонів у загальній масі складу поїзда;

Q_i – середня маса одного вагона (брutto) для i -ї групи вагонів.

Довжину складу визначають приймаючи з ПТР довжину одного вагона для групи, що розглядається. Якщо, обчислена за формулою (3.1), довжина поїзда виявляється більшою за довжину прийомно-відправних шляхів на ділянках обігу, то масу складу слід зменшити.

Приклад завдання 3.

Завдання.

Чи уміститься поїзд із тепловоза 2ТЕ116 склад масою 4950 т, маса якого складається з 50% 4-вісних вагонів та 50% 8-вісних вагонів, на станційних коліях завдовжки 1050 м?

Рішення.

Розрахуємо відповідно до виразу (3.2) число 4 - вісних вагонів:

$$n_4 = \frac{0,5 \cdot 4950}{80} = 30,93 = 31 \text{ вагон}$$

та 8 - вісних:

$$n_8 = \frac{0,5 \cdot 4950}{140} = 17,67 = 18 \text{ вагонов}$$

Приймаючи всі чотиривісні вагони довжиною 14 м, а восьмивісні – 21 м, знайдемо відповідно до виразу (3.1) довжину поїзду з урахуванням довжини локомотива 2ТЕ116 36 м.

$$l_{\text{п}} = 36 + 31 \cdot 14 + 18 \cdot 21 + 10 = 858 \text{ м,}$$

Поїзд вміститься на станційних коліях завдовжки 1050 м.

4. Спрявлення та приведення профілю шляху.

З метою скорочення обсягу роботи при вирішенні тягової задачі проводиться спрявлення та приведення профілю шляху. Спрявляти можна лише близькі по крутості ділянки профілю шляху одного знаку. Перша та остання ділянки не спрявляються. Ухил спрявленого елемента визначається за формулою:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \% \quad (4.1)$$

де i_i - заданий ухил i -ї ділянки профілю шляху, %;

S_i - довжина i -ї ділянки шляху;

i - порядковий номер елемента;

n - максимально допустима кількість елементів, що спрямовуються.

Щоб утримати похибку розрахунків у розумних межах, кожен ділянку, що входить у спрявлений елемент профілю шляху, необхідно перевірити на допустимість випрявлення за формулою:

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

де $\Delta i = \left| |i_c| - |i_i| \right|$ - абсолютна різниця ухилів спрявленої та перевіреної ділянок.

Додатковий опір руху від проїзду кривих, розташованих на ділянках профілю шляху, замінюють еквівалентним йому опором від фіктивних підйомів, таким чином проводячи шлях. За наявності однієї або кількох кривих на випрявленому елементі фіктивний підйом визначають за такою формулою:

$$i'_c = \frac{700}{\sum_{i=1}^n S_i} \sum_{k=1}^m \frac{S_{кр}}{R_k}, \quad (4.3)$$

де $S_{кр}$ – довжина кривої;

R_k – радіус кривої.

Величину наведеного ухилу визначають як суму ухилів спрямленого елемента та фіктивного підйому:

$$i_p = i_c + i'_c, \quad (4.4)$$

Слід пам'ятати, що величина i'_c завжди позитивна, оскільки кривизна шляху збільшує опір руху поїзда. Величина i_c може бути як позитивною (підйом), так і негативною (спуск).

Приклад завдання 4.

Спрямування та приведення шляху із заданим профілем.

№ ділянки	Довжина S , м	Уклін i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1800	-5	-	-
3	3200	-4,2	-	-
4	400	-7	-	-
5	2200	0	-	-
6	1900	2	1000	600
7	2100	4	-	-
8	3000	6	-	-
9	600	0	-	-
10	800	-4	600	500
11	1600	-5,1	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця 4.1 – Вихідні данні розрахунку

1-ша ділянка не спрямляється.

Спрямляємо 2-ю та 3-ю ділянку. Ухил спрямленої ділянки:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{1800 \cdot (-5) + 3200 \cdot (-4.2)}{1800 + 3200} = -4.49 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i},$$

$$1800 \leq \frac{2000}{5 - 4.49} = 3921,$$

$$3200 \leq \frac{2000}{4.49 - 4.2} = 6896, \text{ спрямлення можливо}$$

Збільшимо спрямлений елемент на 1 ділянку, спрямувавши 2-гу, 3-тю та 4-ту ділянки. Ухил спрямленого елемента:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{1800 \cdot (-5) + 3200 \cdot (-4.2) + 400 \cdot (-7)}{1800 + 3200 + 400} = -4.67 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i},$$

$$1800 \leq \frac{2000}{5 - 4.67} = 6060$$

$$3200 \leq \frac{2000}{4.67 - 4.2} = 4255$$

$$400 \leq \frac{2000}{7 - 4.67} = 858, \text{ спрямлення можливо}$$

Збільшимо спрямлений елемент на 1 ділянку, спрямувавши 2-гу, 3-тю, 4-ту та 5-ту ділянки. Ухил спрямленого елемента:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{1800 \cdot (-5) + 3200 \cdot (-4.2) + 400 \cdot (-7) + 2200 \cdot 0}{1800 + 3200 + 400 + 2200} = -3.32 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}$$

$$3200 \leq \frac{2000}{4.2 - 3.32} = 2272$$

Умова не дотримується, випрямлення неприпустиме. Таким чином, 2-га спрямлена ділянка складатиметься з 2-ї, 3-ї та 4-ї ділянок.

Спрямляймо 5-ту та 6-ту ділянки. Ухил спрямленого елемента:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{1900 \cdot 2 + 2200 \cdot 0}{1900 + 2200} = 0.927 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i},$$

$$1900 \leq \frac{2000}{2 - 0.927} = 1863$$

Умова не дотримується, випрямлення неприпустиме. Таким чином, 3-тя спрямлена ділянка складатиметься з 5-ї ділянки.

Спрямляємо 6-ї та 7-ї ділянки. Ухил спрямленого елемента:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{1900 \cdot 2 + 2100 \cdot 4}{1900 + 2100} = 3.05 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}$$

$$1900 \leq \frac{2000}{3.05 - 2} = 1904$$

$$2100 \leq \frac{2000}{4 - 3.05} = 2105, \text{ спрямлення можливо}$$

Збільшимо спрямлений елемент на 1 ділянку, спрямувавши 6-ту, 7-му, і 8-му ділянки. Ухил випрямленого елемента:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{1900 \cdot 2 + 2100 \cdot 4 + 3000 \cdot 6}{1900 + 2100 + 3000} = 4.31 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}$$
$$1900 \leq \frac{2000}{4.31 - 2} = 865$$

Умова не дотримується, спрямлення неприпустиме. Таким чином, 4-й спрямлений елемент складатиметься з 6-ї та 7-ї ділянок.

Спрямяємо 8-му та 9-ту ділянки. Ухил спрямленого елемента:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{3000 \cdot 6 + 600 \cdot 0}{3000 + 600} = 5 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}$$
$$600 \leq \frac{2000}{5 - 0} = 400$$

Умова не дотримується, спрямлення неприпустиме. Таким чином, 5-й спрямлений елемент складатиметься з 8-ї ділянки.

Спрямяємо 9-ту та 10-ту ділянки. Ухил спрямленого елемента:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{600 \cdot 0 + 800 \cdot (-4)}{600 + 800} = -2,28 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}$$

$$600 \leq \frac{2000}{2.28} = 877$$

$$800 \leq \frac{800}{4 - 2.28} = 1162, \text{ спрямлення можливо}$$

Збільшимо спрямлений елемент на 1 ділянку, спрямувавши 9-ту, 10-ту та 11-ту ділянки. Ухил спрямленого елемента:

$$i_c = \frac{\sum_{i=1}^n i_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{600 \cdot 0 + 800 \cdot (-4) + 1600 \cdot (-5.1)}{600 + 800 + 1600} = -3,78 \text{ ‰}$$

Перевіримо можливість спрямлення:

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i}$$

$$1600 \leq \frac{2000}{2.28} = 1515$$

Умова не дотримується, спрямлення неприпустиме. Таким чином, 6-й спрямлений елемент складатиметься з 9-ї та 10-ї ділянок.

7-й елемент складатиметься з 11-ї ділянки та 8-й з 12-ї ділянки, оскільки остання ділянка не спрямовується.

Проведемо приведення елементів шляху, що мають у своєму складі криві.

Фіктивний підйом 4-го елемента шляху, що складається з 5-ї та 6-ї

ділянок:

$$i'_c = \frac{700}{\sum_{i=1}^n S_i} \sum_{k=1}^m \frac{S_{kp}}{R_k} = \frac{700}{2200+1900} \cdot \frac{1000}{600} = 0.28 \text{ ‰},$$

Отже, наведений ухил елемента дорівнює $3,05 + 0.28 = 3.33 \text{ ‰}$.

Фіктивний підйом 6-го елемента шляху, що складається з 9-ї та 10-ї ділянок:

$$i'_c = \frac{700}{\sum_{i=1}^n S_i} \sum_{k=1}^m \frac{S_{kp}}{R_k} = \frac{700}{800+600} \cdot \frac{600}{500} = 0.6 \text{ ‰},$$

Отже, наведений ухил 6-го елемента дорівнює $-2.28 + 0.6 = -1.68 \text{ ‰}$.

За результатами розрахунків заповнимо таблицю параметрів спрямленої ділянки шляху.

№ ділянки	Довжина S , м	Ухил i , ‰
1	1000	0
2	5400	-4,67
3	2200	0
4	4000	3,34
5	3000	6
6	1400	-1,68
7	1600	-5,1
8	1000	0

Таблиця 4.2 – Параметри спрямленого шляху

Додаток А. Вихідні дані до індивідуальних завдань 1...3.

Вихідні дані до кожного індивідуального завдання обираються за номером студента у журналі обліку групи згідно наведеним нижче таблицям

№ варіанта	Тип локомотиву	Тип вагонів	Ухил i , ‰	Радіус кривої R_k , м
1	ВЛ60 ^к	груз	6	1210
2	ВЛ80 ^р	груз	6,2	1180
3	ВЛ82 ^м	пас	8	1150
4	2ТЭ116	груз	7	1120
5	ТЭП70	пас	4	1090
6	2М62	груз	4.2	1060
7	ВЛ60 ^к	груз	5	1030
8	ВЛ80 ^р	груз	6	1000
9	ВЛ82 ^м	пас	8	970
10	2ТЭ116	груз	7	940
11	ТЭП70	груз	4	910
12	2М62	груз	5	880
13	ВЛ60 ^к	груз	6	850
14	ВЛ80 ^р	груз	7	820
15	ВЛ82 ^м	пас	8	790
16	2ТЭ116	груз	5	760
17	ТЭП70	пас	4	730
18	2М62	груз	6	700

Таблиця А.1 – Вихідні дані для розрахунку 1 завдання. В усіх ланкова колія.

№ варіанта	Тип локомотиви	Тип вагонів	Кількість вагонів	Ухил, ‰
1	ВЛ60 ^к	груз	50	12
2	ВЛ80 ^р	груз	60	11
3	ВЛ82 ^м	пасс	70	15
4	2ТЭ116	груз	80	10
5	ТЭП70	пасс	90	7
6	2М62	груз	80	7
7	ВЛ60 ^к	груз	70	6
8	ВЛ80 ^р	груз	60	8
9	ВЛ82 ^м	пасс	50	12
10	2ТЭ116	груз	40	14
11	ТЭП70	груз	50	8
12	2М62	груз	60	10
13	ВЛ60 ^к	груз	70	8
14	ВЛ80 ^р	груз	80	11
15	ВЛ82 ^м	пасс	90	14
16	2ТЭ116	груз	80	10
17	ТЭП70	пасс	70	6
18	2М62	груз	60	8

Таблиця А.2 – Вихідні дані для розрахунку 2 завдання. Для розрахунку приймаємо масу вантажного вагона 80 т, масу пасажирського вагона – 50 т;.

№ варіанта	Тип локомотиву	Маса складу, т	відсоток 4-вісних вагонів	відсоток 8-вісних вагонів	Довжина станційних шляхів
1	ВЛ60 ^к	2000	20	80	500
2	ВЛ80 ^р	2200	25	45	550
3	ВЛ82 ^м	2400	30	40	600
4	2ТЭ116	2600	35	65	650
5	ТЭП70	2800	40	60	700
6	2М62	3000	45	55	650
7	ВЛ60 ^к	3200	50	50	550
8	ВЛ80 ^р	3400	55	45	450
9	ВЛ82 ^м	3600	60	40	350
10	2ТЭ116	2000	70	30	400
11	ТЭП70	2200	65	35	550
12	2М62	2400	60	40	450
13	ВЛ60 ^к	2600	55	45	600
14	ВЛ80 ^р	2800	50	50	500
15	ВЛ82 ^м	3000	45	55	650
16	2ТЭ116	3200	40	60	550
17	ТЭП70	3400	35	65	700
18	2М62	3600	30	70	800

Таблиця А.3 – Вихідні дані для розрахунку 3 завдання.

Додаток Б. Вихідні дані до індивідуального завдання 4.

Вихідні дані до індивідуального завдання обираються з таблиці, що відповідає номеру студента у журналі обліку групи.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	800	2	-	-
3	1700	3,5	-	-
4	2000	2	-	-
5	1300	0	-	-
6	500	3	500	600
7	500	4	-	-
8	300	5,5	-	-
9	800	4	-	-
10	1900	1	900	500
11	1200	-2,5	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.1 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 1 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1200	-1	-	-
3	500	-2,5	-	-
4	1700	-3,7	-	-
5	1000	0	-	-
6	2500	3	800	900
7	700	6,5	-	-
8	1300	5,5	-	-
9	650	3,2	-	-
10	1500	2,2	1000	600
11	1200	-3	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.2 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 2 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1600	-1	-	-
3	1200	-1,5	-	-
4	700	-6	-	-
5	600	-4	-	-
6	2000	-1,5	1000	650
7	2500	2,5	-	-
8	800	4,7	-	-
9	900	6,8	-	-
10	1250	4	800	800
11	800	1,5	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.3 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 3 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	800	2	-	-
3	700	4	-	-
4	550	8	-	-
5	800	5,5	-	-
6	1000	2,7	1000	850
7	800	1,1	-	-
8	1800	-2,1	-	-
9	1700	-4	-	-
10	2500	-0,5	1200	850
11	1200	1,1	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.4 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 4 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1100	-1	-	-
3	850	-2	-	-
4	670	-3,6	-	-
5	1550	-7,5	-	-
6	1300	-4	600	800
7	850	-0,5	-	-
8	600	2,6	-	-
9	3200	3,2	-	-
10	2000	2,1	1500	1050
11	2500	3,1	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.5 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 5 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	750	-1,5	-	-
3	3800	-2,5	-	-
4	2500	-7	-	-
5	1700	-6	-	-
6	1350	-4,5	900	650
7	280	0,3	-	-
8	780	2,3	-	-
9	1250	4,6	-	-
10	800	2,5	800	1500
11	900	1,3	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.6 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 6 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1400	-1	-	-
3	1400	-2,7	-	-
4	800	-6	-	-
5	1600	-6,7	-	-
6	2700	-4,8	1700	2000
7	1350	-3,2	-	-
8	900	4	-	-
9	1300	4,6	-	-
10	1000	8	550	1300
11	600	3	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.7 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 7 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	850	2,3	-	-
3	1600	2,7	-	-
4	750	8	-	-
5	1200	4,5	-	-
6	2800	-0,1	600	1300
7	1300	-2,2	-	-
8	980	0,6	-	-
9	1400	2,8	-	-
10	2500	6,5	400	2050
11	2300	1,9	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.8 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 8 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1450	2,6	-	-
3	1800	2,7	-	-
4	2700	3,5	-	-
5	1350	0,1	-	-
6	1000	-2,6	1000	2500
7	1500	-7	-	-
8	800	-6	-	-
9	1400	-4,3	-	-
10	1350	-0,4	350	800
11	800	2	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.9 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 9 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1700	6	-	-
3	2600	8,9	-	-
4	1400	11	-	-
5	850	5,8	-	-
6	900	-2,6	900	1300
7	2700	-7	-	-
8	2300	-6	-	-
9	1400	-0,5	-	-
10	1200	0,4	600	2500
11	600	3	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.10 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 10 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1800	2	-	-
3	1200	2,1	-	-
4	600	2,9	-	-
5	1800	0,5	-	-
6	3000	-1	500	2000
7	550	-6	-	-
8	780	-2,5	-	-
9	1300	-0,9	-	-
10	1800	2	800	1700
11	2000	1,5	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.11 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 11 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1500	-2,5	-	-
3	1100	-4	-	-
4	800	-5	-	-
5	1800	-3	-	-
6	1300	-0,6	350	1200
7	1500	2,3	-	-
8	1200	4	-	-
9	2500	4,8	-	-
10	1000	1,7	1000	2800
11	500	1,6	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.12 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 12 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	800	-1,7	-	-
3	1900	-2,6	-	-
4	1400	-4	-	-
5	1700	-2,5	-	-
6	500	-0,5	500	1000
7	850	1,5	-	-
8	3500	5	-	-
9	2400	4,7	-	-
10	2400	2,8	1200	5000
11	600	1	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.13 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 13 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1500	-2	-	-
3	1400	-3,5	-	-
4	2700	-2,8	-	-
5	1000	0,5	-	-
6	1650	3,5	600	1200
7	850	6	-	-
8	950	4,8	-	-
9	1250	2,7	-	-
10	2000	-3	400	650
11	1000	-1,2	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.14 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 14 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	800	-1,6	-	-
3	600	-2,8	-	-
4	2100	3	-	-
5	950	4,2	-	-
6	1800	1,5	300	1200
7	1300	0	-	-
8	800	1,5	-	-
9	1600	2,1	-	-
10	1800	-1	500	1250
11	2500	1,5	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.15 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 15 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1700	2	-	-
3	1200	4	-	-
4	800	6,5	-	-
5	850	2,3	-	-
6	1200	1	400	800
7	1200	-3	-	-
8	4500	-2,2	-	-
9	2300	0	-	-
10	2200	2	1200	900
11	1700	0,5	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.16 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 16 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	800	-1	-	-
3	1800	-3	-	-
4	2800	-2	-	-
5	650	1,7	-	-
6	1500	2,6	500	1000
7	1000	3	-	-
8	1500	6	-	-
9	1000	5	-	-
10	3200	-1	1300	1500
11	800	-1,5	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.17 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 17 варіант.

№ ділянки	Довжина ділянки S , м	Ухил ділянки i , ‰	Довжина кривої $S_{кр}$, м	Радіус кривої R_k , м
1	1000	0	-	-
2	1500	-1,5	-	-
3	2500	-2,8	-	-
4	1800	-6	-	-
5	1700	-3,8	-	-
6	2500	1	600	1250
7	800	4,5	-	-
8	500	2,6	-	-
9	700	-2	-	-
10	1200	-1,7	800	2500
11	650	1	-	-
12	1000	0	-	-

Таблиця Б.18 – Вихідні дані для розрахунку 4 завдання, 18 варіант.