

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра «Транспортна інфраструктура»

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

**ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ
НА ДІЛЯНЦІ ОБХОДУ**

Методичні рекомендації до виконання курсового проекту

ЕЛЕКТРОННИЙ АНАЛОГ
ДРУКОВАНОГО ВИДАННЯ

Дніпро – 2022

Укладачі:

О. М. Патласов, доц.,

М. А. Арбузов, доц.,

В. В. Савицький, асистент

Експерти:

О. Л. Тютюкін, д-р техн. наук,

Д. М. Курган, д-р техн. наук

Рекомендовано МК ННЦ «ОБД» (протокол № 2 від 07.11.2022).

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 581 від 06.12.2022)

Залізнична колія: Проектування та розрахунок рейкової колії на ділянці обходу: Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту / Укл.: О. М. Патласов, М.А. Арбузов, В.В. Савицький.; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро, 2022. - 53 с.

Методичні рекомендації регламентують порядок вибору оптимального радіуса кривих на ділянці об'їзду, проектування плану об'їзду або відгалуження ділянки колії, розрахунку ширини колії, підвищення зовнішньої рейки, довжини перехідних кривих, укладання укорочених рейок в кривих, розташованих на ділянці зміщення колії. Наведені приклади розрахунків. Призначені студентам освітнього ступеню – бакалавр денної та безвідривної форми навчання за освітньо-професійною програмою спеціальності 273 «Залізничний транспорт» спеціалізації «Залізничні споруди та колійне господарство», можуть бути використані слухачами навчально-наукового центру розвитку професійної освіти.

Іл.20, Табл.5, Бібліогр.: 8 назв.

© Патласов О.М. та ін., укладання, 2022

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 СКЛАД РОБОТИ І ВИХІДНІ ПОЛОЖЕННЯ	5
2 ВИБІР ТА АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ЗМІЩЕННЯ ОСІ КОЛІЇ	5
2.1 Загальні положення	6
2.2 Паралельне зміщення колії без влаштування перехідних кривих	10
2.3 Паралельне зміщення колії з застосуванням перехідних кривих	12
2.4 Зміщення колії з влаштуванням перехідних кривих при непаралельному розміщенні основної і обхідної колії	13
2.5 Відгалуження обхідної колії від основної при їх паралельному розміщенні	15
2.6 Відгалуження обхідної колії від основної при непаралельному їх розміщенні	16
3 ВИЗНАЧЕННЯ ВАНТАЖОНАПРУЖЕНОСТІ ТА РОЗРАХУНКОВИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ	17
3.1 Визначення вантажонапруженості ділянки колії	17
3.2 Порядок визначення розрахункових швидкостей для розрахунку підвищення	17
4 ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА КРИВИХ	19
5 РОЗРАХУНКИ ПІДВИЩЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ РЕЙКИ В КРИВИХ	23
5.1 Основні положення	23
5.2 Порядок виконання розрахунку підвищення	24
5.3 Перевірка рекомендованого підвищення і рекомендації щодо допустимих швидкостей руху	18
5.4 Перевірка рекомендованого підвищення і рекомендації щодо допустимих швидкостей руху	26
6 ПРОЄКТУВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ КРИВИХ І РОЗРАХУНОК ЇХ РОЗБИВКИ	27
6.1 Призначення і форма перехідних кривих	27
6.2 Вибір довжини і параметра перехідної кривої	28
6.3 Розрахунки розбивки перехідних кривих	30
7 РОЗРАХУНКИ КІЛЬКОСТІ І ПОРЯДКУ УКЛАДКИ УКРОЧЕНИХ РЕЙОК В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ	32
7.1 Методика розрахунків	32
7.2 Приклад розрахунків	36
8 РОЗРАХУНКИ ШИРИНИ КОЛІЇ	39
8.1 Ширина колії в прямих	39
8.2 Ширина колії в кривих	40
9 РОЗРАХУНОК УМОВ УКЛАДАННЯ РЕЙКОВИХ ПЛІТЕЙ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ	43
9.1 Визначення допустимих інтервалів зміни температури рейкових плітей	43
9.2 Визначення температурних умов закріплення і експлуатації рейкових плітей	44
9.3 Додаткові вимоги до температурних умов закріплення і експлуатації рейкових плітей	45
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	46
ДОДАТОК А	47
ДОДАТОК Б	53

ВСТУП

Дані методичні рекомендації (далі МР) призначені для студентів, які виконують курсовий проєкт з розділу «Верхня будова колії» дисципліни «Залізнична колія». Доцільно мати на увазі, що всі розділи курсового проєкту взаємно пов'язані і виконуються практично паралельно. Ряд вихідних даних для виконання основного розділу з проєктування обхідної колії (розділ 2 МР), крім вказаних у завданні, приймається на основі розгляду питань, викладених в інших розділах МР. До таких відноситься насамперед вибір радіуса S -подібних кривих, підвищення зовнішньої рейки в кругових кривих і довжин перехідних кривих. Після остаточного визначення параметрів об'їзду доцільно виконати детальні розрахунки всіх параметрів рейкової колії для кожної кривої на об'їзді.

Передбачається, що студенти до виконання розділу роботи у відповідності з даними вказівками детально ознайомляться з теоретичними передумовами в рекомендованій навчальній [1] і технічній [3,4,5,6] літературі. Використовуються також знання, набуті при вивченні дисципліни «Проектування залізниць».

Вимоги до оформлення.

Курсовий проєкт – це різновид наукової роботи, її оформлення і зміст прописаний у державному стандарті ДСТУ 3008-95 Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

Для оформлення курсової роботи використовують шрифт Times New Roman з розміром 14, з 1,5 міжстроковим інтервалом, відступами абзаців 1,5 см, а також об'ємом 15-20 сторінок.

Назви розділів і підрозділів слід виділяти жирним.

До нумерації аркушів приступають, починаючи з другого. Цифри заведено розміщувати в правому куті аркуша вгорі. Другий лист містить план курсової.

У вступі дається стисла характеристика змісту і структури тексту, його завдання і цілі, предмет і об'єкт вивчення, ступінь його вивченості в національному і міжнародному масштабі, а також актуальність проблеми.

Всі глави слід планувати приблизно однаковими по довжині. Якщо глави курсової розбиті на підрозділи, підрозділи повинні починатися на тому ж аркуші, що і попередня частина.

Структура курсового проєкту:

- зміст;
- вступ до курсової роботи;
- основна частина (поділена на розділи та підрозділи);
- висновок;
- перелік використаних джерел;
- додатки (за необхідності)

До захисту допускаються студенти, які в повному обсязі виконали завдання курсової роботи і мають рецензію керівника, що є основою для оцінювання роботи.

Критерії оцінювання курсового проєкту.

90 – 100 балів отримує студент, робота якого оформлена відповідно до вимог; зміст курсового проєкту в повному обсязі відповідає темі та визначеній меті; у роботі містяться елементи наукового пошуку в теоретичному аспекті на основі опрацювання достатньої кількості наукової літератури; практичний результат обраної теми свідчить про вміння студента систематизувати зібраний матеріал, робити висновки про позитивні і негативні моменти; студент вільно володіє спеціальними термінами, не робить граматичних помилок.

75– 89 балів отримує студент, робота якого оформлена відповідно до вимог; зміст курсового проєкту в повному обсязі відповідає темі та визначеній меті, але є незначні недоліки методичного або стилістичного характеру. У час захисту студент дає правильні відповіді, але недостатньо аргументовані.

74 - 60 балів отримує студент, курсовий проєкт якого розкриває теоретичні питання недостатньо повно, містить мало документів наукового дослідження, аналіз зроблено поверхово; висновки аргументовано недостатньо переконливо, робота оформлена неохайно.

1 – 59 балів виставляють студенту, якщо курсовий проєкт виконано не в повному обсязі та з відхиленнями від завдання; оформлено без врахування встановлених вимог; мають місце суттєві помилки, які є причиною повернення курсового проєкту на доопрацювання; студент слабо володіє мовою викладу матеріалу.

1 СКЛАД РОБОТИ І ВИХІДНІ ПОЛОЖЕННЯ

В кривих ділянках будова рейкової колії має ряд особливостей. Основні з них: підвищення зовнішньої рейки; розширення колії в крутих кривих; сполучення кругових кривих з прямими і між собою з допомогою перехідних кривих; укладання укорочених рейок на внутрішніх рейкових нитках кривих; на двох і багатоколійних ділянках на кривих збільшується відстань між осями суміжних колій.

В даних методичних рекомендаціях розглядається проєктування рейкової колії на ділянках траси зі зміщенням колії на величину E на ділянці об'їзду (рис. 2.1, 2.2) або з примиканням обхідної колії до головної при збереженні основного напрямку або відгалуження другого напрямку (рис. 2.5, 2.6). Як варіанти тут можуть розглядатися ділянки об'їзду при паралельному (рис. 2.1, 2.3, 2.5) і непаралельному (рис. 2.2, 2.4, 2.6) зміщенні колії. Такі зміщення можуть бути потрібні, наприклад, на станції для збільшення міжколійної відстані за вимогою габариту, при побудові острівної платформи або тимчасового моста на об'їзді.

Виконання курсового проєкту зводиться до загального компоновання ділянки об'їзду і розрахунків параметрів кожної кривої окремо. В основу проєктування і розрахунків колії на ділянці зміщення або на об'їзді покладені:

- потрібна величина зміщення E , тобто відстань до нового положення колії і довжина прямої ділянки зміщеної колії Z_0 ;
- експлуатаційні характеристики роботи лінії, зокрема структура потоку поїздів, що очікується на запроєктованій ділянці (середньодобова кількість поїздів кожної категорії, їх маса і швидкість руху);
- технічні умови проєктування.

У випадку влаштування відгалуження при збереженні основної колії у вихідних даних повинні бути і параметри стрілочного перевалу. Як правило, використовуються результати попередніх розрахунків стрілочного перевалу.

Під час проєктування об'їзду повинні бути визначені радіуси кругових кривих; підвищення зовнішньої рейки h ; елементи перехідних кривих; довжина прямих вставок між кривими; довжина зміщення L і повна довжина об'їзду; порядок розкладки укорочених рейок.

Інші необхідні дані для проєктування об'їзду приймаються студентами самостійно, виходячи з вимог і міркувань, викладених у даних МВ, учбовій і технічній літературі та нормативних документах.

Загальний алгоритм виконання розрахунків об'їзду наведено на рис 1.1.

2 ВИБІР ТА АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ЗМІЩЕННЯ ОСІ КОЛІЇ

2.1 Загальні положення

До основних параметрів, що визначаються на ділянці зміщення при проєктуванні об'їздної колії відносяться кут повороту β в межах кривої, (він же є кутом нахилу прямої вставки між зворотними кривими), а також повна довжина ділянки переходу з початкової колії на зміщену. Одночасно визначається ряд величин, необхідних для розбивки і закріплення плану ділянки об'їзду на місцевості. Ці параметри визначаються шляхом сумісного вирішення рівнянь проєкцій розрахункового контуру на вертикальну і горизонтальну вісь. Під розрахунковим контуром мають на увазі ділянку переходу з існуючої колії на зміщену, початок якої знаходиться на вихідній колії, а кінець на колії, що розташована на заданому зміщенні.

Розрахунковим контуром (рис. 2.1) буде колія між точками $ABCB_1A_1$. Рівняння проєкцій цього контуру будуть такими

$$L = R \sin \beta + d \cos \beta + R \sin \beta = 2R \sin \beta + d \cos \beta, \quad (2.1)$$

$$E = R(1 - \cos \beta) + d \sin \beta + R(1 - \cos \beta) = 2R(1 - \cos \beta) + d \sin \beta. \quad (2.2)$$

При паралельному розміщенні основної і обхідної колії лівий і правий контури зміщення будуть симетричними. Тому рівняння (2.1) і (2.2) будуть однаковими для обох контурів.

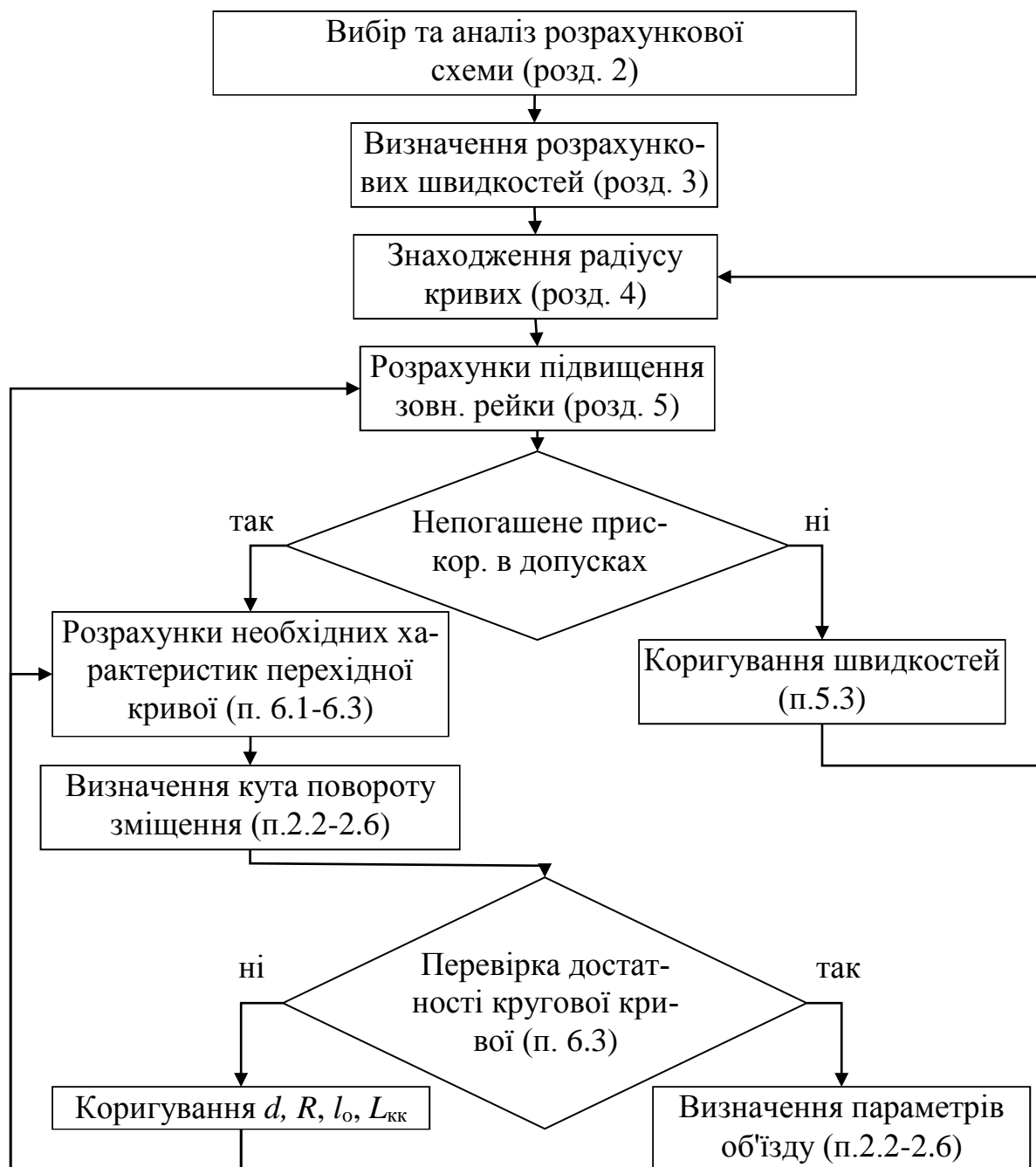


Рис. 1.1. Алгоритм виконання розрахунків об'їзду

У випадку непаралельного розміщення існуючої та обхідної колій (рис. 2.2) лівий і правий контури будуть різними. У них можуть бути різними і радіуси кривих. Тому для визначення всіх параметрів колії на об'їзді складаються чотири рівняння проєкцій розрахункових контурів на вертикаль і горизонталь. Це будуть рівняння типу (2.1) і (2.2), але вони будуть різними для

правої і лівої ділянок зміщення колії у зв'язку з наявністю кута θ між існуючою та обхідною коліями.

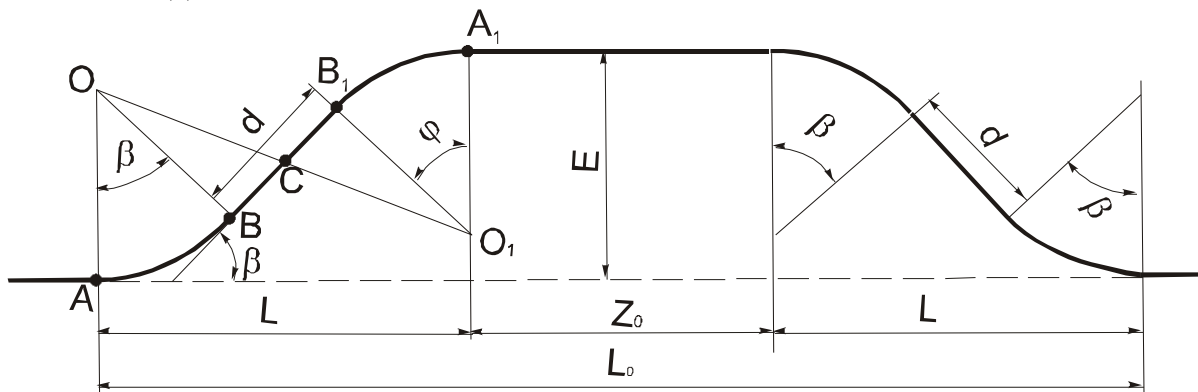


Рис. 2.1. Схема колії на об'їзді при паралельному розміщенні основної та обхідної колій

Вихідними даними для вирішення таких задач будуть величина зміщення колії E , радіус кривих R , величина прямої вставки між кривими d , довжина зміщеної частини прямої колії Z_0 . В залежності від особливостей конкретного варіанту вихідні дані можуть змінюватись або доповнюватись. Частина необхідних для розрахунків вихідних даних хоч і вважається заданими, але по своїй суті є величинами, що вибираються або розраховуються від умов експлуатації. Таким, наприклад, є радіус кривих, порядок вибору яких описано в розділі 3, пряма вставка між кривими.

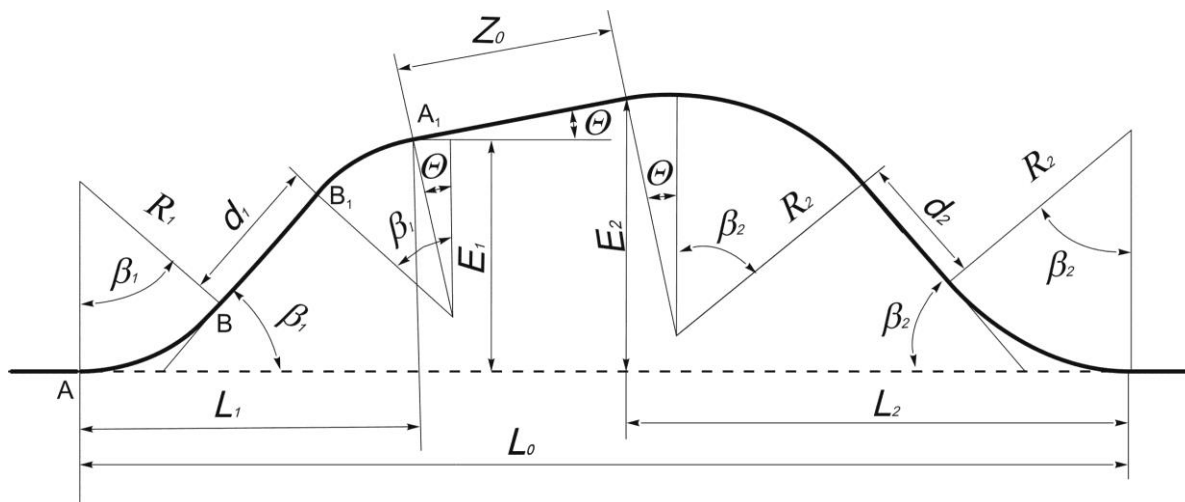


Рис. 2.2. Схема колії на об'їзді при непаралельному розташуванні основної та обхідної колії

Прямі вставки між кривими при будівництві нових ліній, других колій, об'їздів, при капітальному ремонті колії доцільно приймати по можливості більшої довжини, але, згідно з [4], не менше вказаних в табл. 2.1.

**Мінімальна довжина прямої вставки між початковими точками
перехідних кривих**

Категорія лінії	Довжина вставки між кривими (м), що направлені			
	в різні сторони в умовах:		в одну сторону в умовах	
	нормальних	важких	нормальних	важких
Швидкісна	150	100	150	100
I-II категорії	150	50	150	75
III - VI категорії	75	50	100	50
VII категорії	50	30	50	30

Примітка: 1. При проектуванні нових залізничних ліній V-VII категорій, що споруджуються в особливо важких умовах, додаткових головних колій і реконструкції існуючих залізничних ліній допускається, при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні, передбачати сполучення зворотних кривих із перехідними кривими без прямих вставок.

2. Для ліній VI, VII категорій у особливо важких умовах дозволяється зменшувати пряму вставку між перехідними кривими до 20 м.

3. На під'їзних коліях, що обслуговуються маневровим порядком, а у важких умовах при поїзному русі зі швидкостями не вище 25 км/год, а також на тимчасових дільницях траси, які споруджуються на період будівництва, прямі вставки між перехідними кривими допускається не влаштовувати. При відсутності перехідних кривих прямі вставки допускається не влаштовувати, якщо не передбачається підвищення зовнішньої рейки.

Мінімальні розміри прямих вставок повинні забезпечуватись між початковими точками перехідних кривих, а при їх відсутності кругових кривих (рис. 2.1-2.5). Виходячи з цього будівельні вставки на контурі зміщення з врахуванням перехідних кривих повинні бути

$$d_c = d + 2m, \quad (2.3)$$

де d – пряма вставка між круговими кривими;

m – збільшення тангенсу кругової кривої при влаштуванні перехідної кривої. Приблизно при довжині перехідної кривої $l_0 \leq 120$ м
 $m = l_0 / 2$.

При розрахунках ділянки зміщення з розбивкою перехідних кривих доцільно перевірити можливість влаштування мінімальної допустимої довжини кругової кривої, що залишається між двома перехідними кривими (див. п.5.3).

Всі відмічені варіанти зміни параметрів об'їзду студенти повинні самостійно проаналізувати і вибрати оптимальний для остаточних розрахунків всього об'їзду.

Рішення рівнянь (2.1) і (2.2) для показаної на рис. 2.1 схеми і подібних рівнянь для інших схем на ділянках зміщень або розгалуження колії дає практичні вирази, що наведені в наступних розділах. Порядок одержання практичних розрахункових формул докладно розглянуто далі на прикладі схеми без перехідних кривих (рис. 2.3а).

2.2 Паралельне зміщення колії без влаштування перехідних кривих

Схема паралельного зміщення без перехідних кривих, що наведена на рис. 2.3а, являється елементом загальної схеми зміщення, наведеної на рис. 2.1.

Для її розрахунку задаються величиною зміщення E , у відповідності до рекомендацій, наведених у розділі 3, вибирають радіус R і, згідно табл. 2.1, пряму вставку d .

Визначаються: β, L, K, T .

Кут β визначається з розгляду проекції контура $ABCO$ на вертикаль – $AF + FO = R$.

Відрізок AF представляє собою проекцію контура ABC і дорівнює $E/2$ в зв'язку з симетричністю контурів ABC і CB_1A_1 .

Відрізок FO визначається з розгляду трикутників OFC і OBC

$$FO = OC \cdot \cos \gamma = \frac{OB}{\cos \psi} \cdot \cos \gamma = \frac{R}{\cos \psi} \cdot \cos \gamma. \quad (2.5)$$

Тоді

$$\frac{R \cdot \cos \gamma}{\cos \psi} + \frac{E}{2} = R. \quad (2.6)$$

Після перетворень маємо:

$$\cos \gamma = \left(1 - \frac{E}{2R}\right) \cos \psi, \quad (2.7)$$

а кут β буде дорівнювати

$$\beta = \gamma - \psi. \quad (2.8)$$

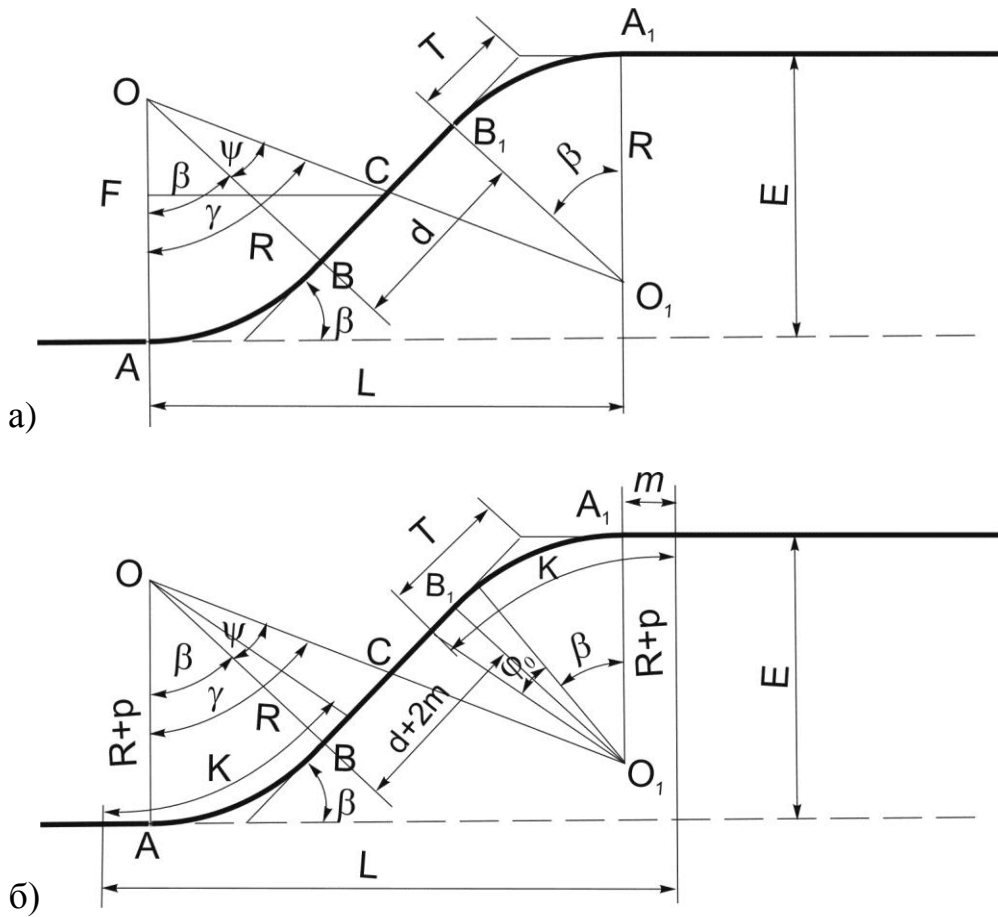


Рис. 2.3. Схеми паралельного зміщення колії:
 а) без перехідних кривих, б) з перехідними кривими

Допоміжний кут ψ можна визначити з трикутника OBC :

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{d}{2R}. \quad (2.9)$$

Довжина кривої K , її тангенс T і довжина зміщення L визначаються із таких виразів:

$$\left. \begin{aligned} K &= \beta^{rad} R = \frac{\pi}{180} \beta^{\circ} R = 0,017453 \cdot \beta^{\circ} \cdot R \\ T &= R \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}; \\ L &= 2R \sin \beta + d \cos \beta \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Доцільно провести перевірку правильності виконаних обчислень за формулою:

$$E - (2T + d) \sin \beta = 0. \quad (2.11)$$

За цими ж формулами проводять розрахунки зміщення, якщо зворотні криві розміщують без прямої вставки, тобто при $d=0$.

Аналогічно отримуємо рівняння для визначення параметрів об'їзду при інших наведених далі схемах.

2.3 Паралельне зміщення колії з застосуванням перехідних кривих

Дано (або визначено за розрахунками згідно схеми 1.1) E, R, m, l_0, p, d .

Знаходимо: β, L, K, T .

Схема зміщення колії із застосуванням перехідних кривих наведена на рис. 2.3б і відрізняється від попередньої наявністю перехідних кривих біля кожної кругової кривої.

Тому, на відміну від попереднього розрахунку, після вибору R і d у відповідності до рекомендацій розділів 4 і 5 доцільно встановити підвищення зовнішньої рейки і основні параметри перехідної кривої. До них відносяться довжина перехідної кривої l_0 , зміщення кругової кривої при влаштуванні перехідних кривих p , відстань від початку перехідної кривої до проекції нового центра кривої m .

Аналогічно методиці, наведеній у п. 2.2, маємо наступні формули для розрахунків:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \psi &= \frac{d + 2m}{2(R + p)} \\ \cos \gamma &= \left(1 - \frac{E}{2(R + p)} \right) \cos \psi \\ \beta &= \gamma - \psi \\ K &= \beta^{pad} \cdot R + l_0 = 0,017453 \cdot \beta^o \cdot R + l_0 \\ T &= (R + p) \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + m \\ L &= 2(R + p) \sin \beta + (d + 2m) \cos \beta + 2m. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Перевірка правильності виконаних розрахунків виконується шляхом перевірки рівняння:

$$E - (2T + d) \sin \beta = 0. \quad (2.13)$$

В наведених формулах позначено: p – зміщення кругової кривої при влаштуванні перехідної кривої:

$$p = \frac{l_0^2}{24R} \quad (2.14)$$

$$m = \frac{l_0}{2} \left(1 - \frac{l_0^2}{120R^2} + \frac{l_0^4}{1780R^4} - \dots \right) \approx \frac{l_0}{2}. \quad (2.15)$$

Після знаходження кута β доцільно перевірити можливість розбивки перехідних кривих у відповідності до рекомендацій п. 5.3 і при доцільності змінити ті чи інші параметри зміщення.

При невиконанні умови розміщення між двома перехідними кругової кривої L_{\min} достатньої довжини, доцільно розглянути питання щодо зміни зміщення E , або переглянути значення перехідної кривої (l_0), радіусу (R), довжини прямої вставки (d) та довжини кругової кривої (L_{\min}), однак не виходячи за межі їх допустимих величин.

Так, прийнявши

$$\beta = \beta_{\min} = \frac{l_0 + L_{\min}}{R}, \quad (2.16)$$

можна за формулою (2.2) знайти зміщення E_{\min} при якому можлива розбивка перехідних кривих.

Можна розглянути питання щодо зменшення довжини прямої вставки або довжини перехідної кривої, прийнявши крутизну відводу підвищення зовнішньої рейки як для важких умов. Зменшення довжини перехідної кривої можна здійснити і за рахунок зменшення підвищення зовнішньої рейки. Тому доцільно уважно розглянути і проаналізувати цей показник. Може виявитись доцільним для зменшення підвищення зовнішньої рейки збільшити радіус кривої або зменшити максимальну швидкість руху. При цьому доцільно зазначити, що збільшення радіуса кривої веде, як видно з (2.16), до зменшення мінімально допустимого кута β_{\min} .

Для зменшення мінімального кута β_{\min} в ряді випадків може виявитись доцільним скорочення з 30 до 15 м мінімальної довжини кругової кривої, що залишається після влаштування перехідних кривих.

Після цього встановлюються решта розмірів ділянки зміщення, детально розраховується підвищення зовнішньої рейки, елементи перехідних кривих і розкладка укорочених рейок.

2.4 Зміщення колії з влаштуванням перехідних кривих при непаралельному розміщенні основної і обхідної колії

Дано або попередньо визначено за розрахунками: $E, R, m, l_0, p, d, \theta$.

Знаходимо: $\beta, \beta_1, L, K, K_1, T, T_1$.

Як видно з наведеної схеми (рис. 2.4) різниця між нею і попередньою (рис. 2.3б) в тому, що кут повороту другої зворотної кривої β_1 менше кута повороту першої кривої β . Відповідно менша довжина кривої K_1 .

Частина колії від A до C аналогічна схемі розбивки зміщення рис. 2.3б. Друга частина зміщення умовно розраховується як і перша, але потім від кривої віднімається ділянка умовної кривої, що відповідає куту повороту θ .

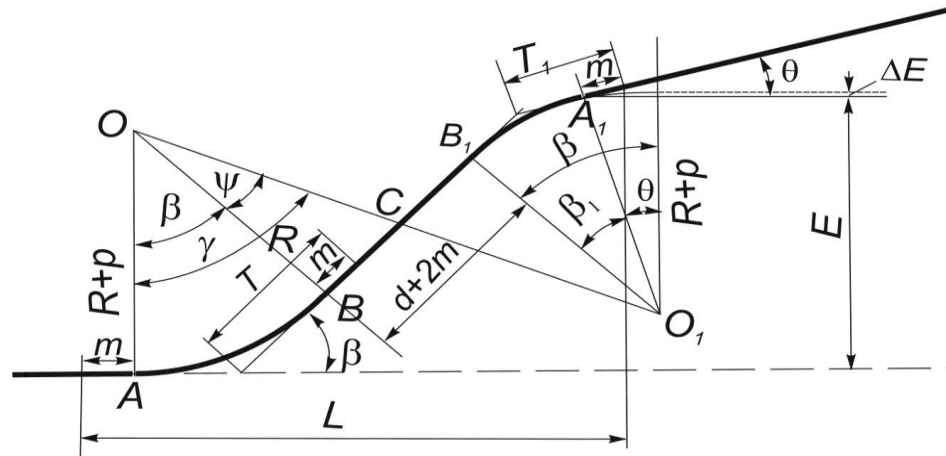


Рис. 2.4. Схема зміщення колії при непаралельному розташуванні існуючого напрямку та обхідної колії

Оскільки кут β_1 менше β для цієї кривої доцільно також перевірити можливість розбивки перехідних кривих.

Розрахунки проводяться з використанням наступних залежностей:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \psi &= \frac{d+2m}{2(R+p)}; & \cos \gamma &= \left(1 - \frac{E+\Delta E}{2(R+p)}\right) \cos \psi = \\ &= \left(1 - \frac{E+(R+p)(1-\cos \theta)}{2(R+p)}\right) \cos \psi; \\ \beta &= \gamma - \psi; & \beta_1 &= \beta - \theta; \\ K &= 0,017453 \cdot \beta \cdot R + l_0; & K_1 &= 0,017453 \cdot \beta_1 \cdot R + l_0; \\ T &= (R+p) \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + m; & T_1 &= (R+p) \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} + m; \\ L &= 2(R+p) \sin \beta + (d+2m) \cos \beta + m - (R+p) \sin \theta + m \cos \theta. \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Після знаходження кута β доцільно перевірити можливість розбивки перехідних кривих та при доцільності змінити ті чи інші параметри зміщення порядком, зазначеним у п. 2.3.

Перевірка правильності виконаних обчислень:

$$E + (R+p)(1 - \cos \theta) - (2T + d) \sin \beta = 0. \quad (2.17)$$

2.5 Відгалуження обхідної колії від основної при їх паралельному розміщенні

Така комбінація (рис. 2.5) кривих і стрілочного перевodu, центр якого знаходиться в точці A , по суті являється скороченим з'єднанням двох колій. Вона може відрізнитись тільки величинами зміщень однієї колії відносно другої. В цій комбінації можливі варіанти з влаштуванням перехідних кривих і без них.

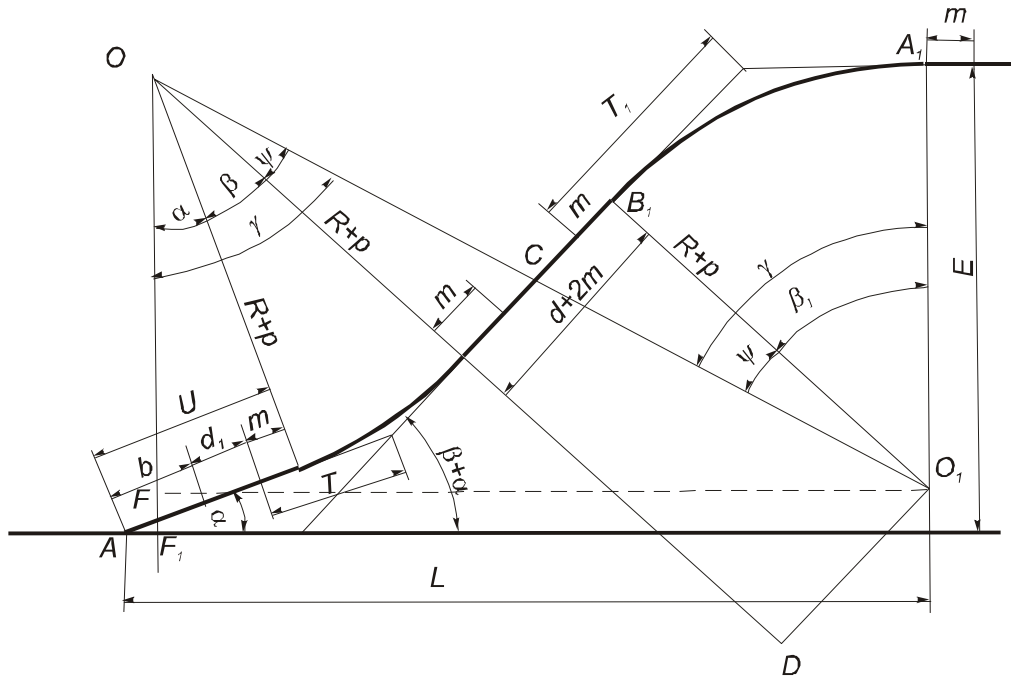


Рис. 2.5. Схема відгалуження обхідної колії від основної при паралельному розташуванні колій

З точки зору розрахунків ця схема відрізняється від описаних вище тим, що в розрахунковий контур окрім двох кривих і прямої вставки між ними входить ще стрілочний перевід і необхідна пряма вставка між ним і кривою.

Дано або попереднє розраховано: $\alpha, a, b, E, R, d, d_1, m, l_o, p$.

Знаходимо: $\beta, \beta_1, L, K, K_1, T, T_1$.

При розв'язанні цієї задачі доцільно додатково до раніше сказаного про вибір прямої вставки між кривими враховувати порядок взаємного розміщення стрілочних переводів і кривих. Зокрема, при швидкості руху на боковий напрямку перевodu більше 120 км/год між стиком в хвості хрестовини і початком перехідної кривої повинна бути пряма вставка d_1 не менше 25м. При швидкостях до 120 км/год пряма вставка d_1 між хвостом хрестовини і початком перехідної кривої повинна дорівнювати довжині ділянки на протязі якої відгалуження розміщено на спільних перевідних брусах. Цей розмір встановлюється за епюрою перевodu. При наявності підвищення зовнішньої рейки в кривих і відсутності перехідних кривих відвід підвищення робиться на прямій вставці між хвостом хрестовини і початком кругової кривої. При

цьому довжина вставки повинна забезпечити можливість зробити відвід підвищення ухилом не більше 3 % поза межами ділянки колії за хрестовиною, розміщеної на перевідних брусах.

Наявність стрілочного переводу накладає деякі обмеження на вибір радіуса захрестовинної кривої, регламентує швидкість руху по кривих. Більш докладно про це сказано в розділі 3.

Формули для розрахунків мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 \operatorname{tg} \psi &= \frac{O_1 D}{2(R+p)} = \frac{d+2m}{2(R+p)}; \quad u = b + d_1 + m; \\
 \cos \gamma &= \frac{OF}{OO_1} = \frac{OF \sin \psi}{DO_1} = \frac{OF_1 - FF_1}{DO_1} \sin \psi = \\
 &= \frac{[u \cdot \sin \alpha + (R+p) \cos \alpha - (E - R - p)] \sin \psi}{d+2m}; \\
 \beta &= \gamma - \psi - \alpha; \quad \beta_1 = \gamma - \psi; \\
 K &= 0,017453 \cdot \beta \cdot R + l_0; \quad K_1 = 0,017453 \cdot \beta_1 \cdot R + l_0; \\
 T &= (R+p) \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + m; \quad T_1 = (R+p) \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} + m; \\
 L &= AF_1 + FO_1 = AF_1 + OF \cdot \operatorname{tg} \gamma = [u \cos \alpha - (R+p) \sin \alpha] + \\
 &+ [u \sin \alpha + (R+p) \cos \alpha - (E - R - p)] \operatorname{tg} \gamma.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Перевірка можливості розбивки перехідних кривих проводиться аналогічно описаному у п. 2.3 порядку після знаходження кутів β і β_1 . Якщо таке з'єднання влаштовується без перехідних кривих, то розрахунки виконуються по тих же формулах (2.18). При цьому приймаються рівними нулю величини m, l_0, p .

Вірність виконаних обчислень визначається шляхом перевірки рівняння:

$$E - (b + d_1 + T) \sin \alpha - (T + T_1 + d) \sin(\alpha + \beta) = 0.$$

2.6 Відгалуження обхідної колії від основної при непаралельному їх розміщенні

Різниця між схемою непаралельного відгалуження (рис. 2.6) і схемою при паралельному розміщенні колії (див. рис. 2.5) в зменшенні кута β_1 на величину θ і відповідно довжини кривої $B_1 A_1$.

Величина міжколійя в точці A_1 менша, ніж в попередньому варіанті (рис. 2.5) на ΔE . Частина розрахункового контур від A до B_1 залишається без змін. У зв'язку з цим загальна схема розрахунків лишається без змін. Вихідні дані і знайдені величини такі, як і в попередньому випадку. Додатково треба знати

величину кута θ , під яким робиться відвід обхідної колії. Обов'язковою являється перевірка можливості розбивки перехідних кривих в обох кругових кривих. Після цього виконуються детальні розрахунки решти параметрів колії в кривих.

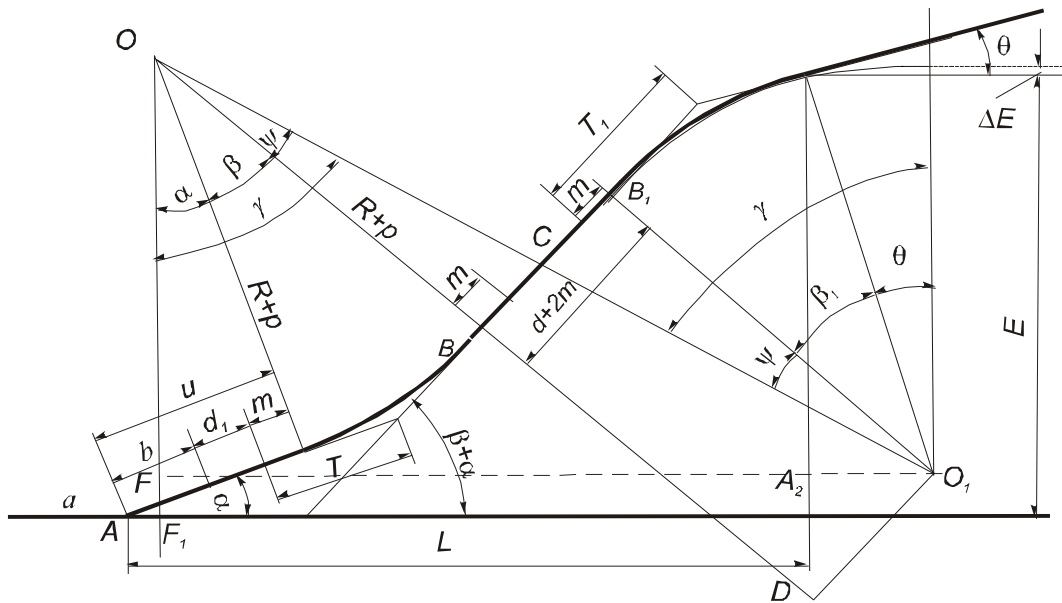


Рис. 2.6. Схема відгалуження обхідної колії від основної при непаралельному розташуванні колій

Як і в попередньому розрахунку, після знаходження кутів β і β_1 треба зробити перевірку можливості розбивки перехідних кривих у відповідності з рекомендаціями п. 2.3 і при доцільності змінити ті чи інші параметри зміщення.

Формули для розрахунків за такою схемою будуть наступні:

$$\left. \begin{aligned}
 \operatorname{tg} \psi &= \frac{O_1 D}{2(R+p)} = \frac{d+2m}{2(R+p)}; \quad u = b + d_1 + m; \\
 \cos \gamma &= \frac{OF}{OO_1} = \frac{OF}{DO_1} \sin \psi = \frac{OF_1 - FF_1}{DO_1} \sin \psi = \\
 &= \frac{(u \cdot \sin \alpha + (R+p) \cos \alpha) - (E - (R+p) \cos \theta)}{d+2m} \sin \psi; \\
 \beta &= \gamma - \psi - \alpha; \quad \beta_1 = \gamma - \psi - \theta; \\
 K &= 0,017453 \cdot \beta \cdot R + l_0; \quad K_1 = 0,017453 \cdot \beta_1 \cdot R + l_0; \\
 T &= (R+p) \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + m; \quad T_1 = (R+p) \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta_1}{2} + m; \\
 L &= AF_1 + FO_1 - A_2 O_1 = AF_1 + OF \cdot \operatorname{tg} \gamma - (R+p) \sin \theta = \\
 &= u \cos \alpha - (R+p) \sin \alpha + \\
 &+ [u \sin \alpha + (R+p) \cos \alpha - (E + \Delta E - R - p)] \operatorname{tg} \gamma - (R+p) \sin \theta.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.19)$$

Вірність виконаних обчислень визначається шляхом перевірки рівняння

$$E - (b + d_1 + T) \sin \alpha - (T + d + m) \sin(\alpha + \beta) - (R + p)(\cos \theta - \cos(\beta_1 + \theta)) = 0.$$

3 ВИЗНАЧЕННЯ ВАНТАЖОНАПРУЖЕНОСТІ ТА РОЗРАХУНКОВИХ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ

3.1 Визначення вантажонапруженості ділянки колії

Конструкція верхньої будови колії залежить від її категорії. Категорія колії встановлюється ДСТУ 9002 [8] і залежить від вантажонапруженості та максимальної встановленої швидкості пасажирських/вантажних поїздів на ділянці.

Вантажонапруженість ділянки колії визначається за формулою:

$$B = 3,65 \cdot 10^{-4} \sum_1^i n_i \cdot Q_i, \quad (3.1)$$

де Q_i – середня вага поїздів бруто i -ої категорії, т ;

n_i – добова кількість поїздів i -ої категорії.

Під індексом « i » розуміють номер категорії (групи) поїздів: швидких, пасажирських, вантажних і т.д.

3.2 Порядок визначення розрахункових швидкостей для розрахунку підвищення

У відповідності до Правил визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії [2] розрахункові швидкості руху поїздів визначаються наступним чином.

Для розрахунку підвищення зовнішньої рейки при експлуатації колії зі *сталими швидкостями* руху всіх поїздів, що прямують по кривій, ці швидкості визначаються за даними швидкостемірних стрічок локомотивів.

При проектуванні ліній та перебудові ліній, при проведенні капітального ремонту з введенням суттєво *підвищених швидкостей*, розрахункові швидкості пасажирських і вантажних поїздів приймаються на основі тягових розрахунків. У вихідних даних до курсової роботи задані швидкості за тяговими розрахунками.

Середньозважена квадратична швидкість розраховується за формулою:

$$V_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_1^i n_i \cdot Q_i \cdot V_i^2}{\sum_1^i n_i \cdot Q_i}}, \quad (3.2)$$

де Q_i – середня вага поїздів брутто i -ої категорії, т ;

n_i – добова кількість поїздів i -ої категорії;

V_i – середня швидкість руху поїздів i -ої категорії в кривій, км/год.

Під індексом « i » розуміють номер категорії (групи) поїздів: швидких, пасажирських, вантажних і т.д.

Розрахунки V_{cp} при опрацюванні швидкостемірних стрічок можуть виконуватися не за категоріями поїздів, а за кожним поїздом вибірки. В цьому випадку враховується конкретна вага Q_i та швидкість V_i кожного i -го поїзда, а n_i дорівнює одиниці.

Фактична середньозважена швидкість завжди менше отриманої за тяговими розрахунками, тому при використанні тягових розрахунків середньозважена швидкість повинна коригуватися за допомогою коефіцієнта k_1 :

$$V_{\text{cp}} = k_1 V_{\text{cp}}^{\text{ТЯГ}}. \quad (3.3)$$

Поправочний коефіцієнт k_1 знаходиться в межах 0,5÷0,85. У додатку Б наведені значення коефіцієнтів k_1 в залежності від місця розташування кривих на перегоні та ряду експлуатаційних умов.

Максимальні швидкості руху пасажирських і вантажних поїздів – це швидкості поодиноких поїздів кожної категорії у відібраній для аналізу сукупності поїздів, або швидкості які реалізуються в кривих згідно з тяговими розрахунками. Це можуть бути і заплановані допустимі швидкості, якщо вони близькі до результатів тягових розрахунків.

Мінімальна розрахункова швидкість руху вантажних поїздів при опрацюванні масиву швидкостемірних стрічок приймається як різниця між середньозваженою швидкістю поїздів і одним середньоквадратичним відхиленням швидкостей від середньозваженої швидкості S :

$$V_{\text{min}} = V_{\text{cp}} - S. \quad (3.4)$$

При визначенні підвищення з використанням тягових розрахунків мінімальна швидкість може бути визначена за допомогою коефіцієнта k_2 , як частина від середньозваженої швидкості:

$$V_{\text{min вант}} = k_2 k_1 V_{\text{cp}}^{\text{ТЯГ}} = k_2 V_{\text{cp}}. \quad (3.5)$$

Як і коефіцієнт k_1 , цей коефіцієнт залежить від місця розташування кривої і ряду експлуатаційних умов. Значення його приймається від 0,4 до 0,85. Менше значення відноситься до зон станцій, більше до основної частини перегонів. В додатку Б наведені значення коефіцієнтів k_2 в залежності від місця розташування кривих на перегоні та ряду експлуатаційних умов.

Конкретні значення коефіцієнтів k_1 та k_2 під час виконання курсової роботи вибираються студентом самостійно з відповідним обґрунтуванням.

4 ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСА КРИВИХ

Правильний вибір оптимального радіуса кривих (звичайно він приймається однаковим для всіх кривих на об'їзді) з врахуванням всіх затрат і забезпечення комфортабельності їзди для пасажирів становить собою складну техніко-економічну задачу.

В даній роботі задача вирішується більш вузько. При розрахунку обхідних колій, схеми яких наведені на рис. 2.3, 2.4, доцільно знайти такий мінімальний радіус кривої, при якому можна зробити підвищення зовнішньої рейки над внутрішньою, що задовольняє техніко-економічним вимогам і умовам комфортабельності їзди пасажирів.

Техніко-економічним вимогам відповідає таке підвищення, при якому сукупність всіх поїздів, що рахуються по кривій, діє однаково на кожен рейкову нитку. При цьому підвищенні на поїзд, що рухається по кривій з середньоквадратичною зваженою по тоннажу швидкістю, значення непогашеного поперечного прискорення дорівнює нулю.

Для забезпечення комфортабельності їзди при цьому ж підвищенні на пасажирів поїзду, що рухається з найбільшою допустимою швидкістю, повинне діяти непогашене прискорення не більше $0,7 \text{ м/с}^2$. Прискорення $0,7 \text{ м/с}^2$ є максимальним значенням, при якому ще забезпечується комфортабельність їзди.

Докладно формули для розрахунків підвищення з урахуванням всіх експлуатаційних вимог і порядок їх використання викладені в розділі 5.

Приврівнюючи одне до другого значення підвищення за формулою (5.1), що забезпечує однаковий вертикальний вплив на обидві рейки, і мінімальне підвищення за формулою (5.2), при якому забезпечується комфортабельність їзди з допустимим прискоренням $\alpha_{\text{нп}}=0,7 \text{ м/с}^2$, одержимо формулу для розрахунків потрібного оптимального значення радіуса:

$$R_0 = \frac{12,5(V_{\text{max}}^2 - V_{\text{cp}}^2)}{115}. \quad (4.1)$$

Оскільки ця формула одержана при умові, що значення радіуса обмежується величиною допустимого непогашеного прискорення $[\alpha_{\text{нп}}]=0,7 \text{ м/с}^2$ до-

цільно перевірити яке при цьому буде підвищення зовнішньої рейки кривої виходячи з першого критерія, тобто визначеного за формулою (5.1).

Якщо $h_p < h_{\text{доп}} = 150$ мм, то це значить, що обмежуючим критерієм дійсно є $[\alpha_{\text{нп}}]$. В цьому випадку рахунки визначення радіусу закінчують, а одержаний радіус дійсно являється найменшим оптимальним.

Якщо виявиться, що $h_p > h_{\text{доп}}$, то обмеження настає не по $[\alpha_{\text{нп}}]$, а по допустимому значенню підвищення. В такому випадку доцільно прийняти $h_p = h_{\text{доп}}$ і знайти мінімальний радіус, при якому підвищення дорівнюватиме допустимому, за формулою, одержаній з рівняння (5.1):

$$R_0 = \frac{12,5V_{\text{cp}}^2}{h_p}. \quad (4.2)$$

Зміст оптимального радіуса наглядно видно з розгляду графіка на рис. 4.1. На ньому для прикладу наведені залежності $h_p = f(R, V_{\text{cp}})$ за формулою (5.1) і $h_{\text{min}} = f(R, V_{\text{max}})$ за формулою (5.2) при конкретних двох значеннях швидкості руху: максимальної – 100 км/год і середньозваженої – 60 км/год. Точка перетину ліній h і h_{min} визначає оптимальне значення радіуса. При такому значенні радіусу підвищення, визначене по кожному з критеріїв буде однаковим. Для інших швидкостей можна скористатися наведеними в додатку А на рис. А.4 графіками, які відрізняються від рис. 4.1 різним розташуванням осей h та R . Вирішити поставлену задачу можна також за допомогою наведеної в додатку А на рис. А.5 номограми шляхом проведення умовної лінії через точки, що відповідають швидкості 100 км/год на шкалі максимальних швидкостей та 60 км/год на шкалі середньозважених швидкостей. На пересіченні цієї умовної лінії зі шкалою радіусів визначається «оптимальний» радіус кривої.

На залізницях України у відповідності до проекту норм [2] прийняті такі стандартні значення радіусів кругових кривих: 4000, 3000, 2500, 2000, 1800, 1500, 1200, 1000, 800, 700, 600, 500, 400, 350, 300, 250, 200, 180, 150 м.

Нормами [4] встановлені сфери застосування кривих з такими радіусами в залежності від категорії колій та умов експлуатації (звичайні, важкі, особливо важкі). Ці дані наведені в табл. 4.1.

Величина радіуса R одержана з виразу (4.1) або (4.2) для звичайних умов, округлюється до ближчого стандартного значення, яке далі приймається як розрахункове. В важких і особливо важких умовах за розрахункове приймають значення радіуса, що допускається для цих умов по табл. 4.1.

При підрахунках середньозваженої швидкості за формулою (3.2) враховуються швидкості всіх поїздів згідно з завданням. Але при розгляді відгалуження колії з укладкою стрілочного перевалу (рис. 2.5 і 2.6) швидкість поїзда не може перевищувати допустиму для бічної колії стрілочного перевалу. В цьому випадку задані швидкості поїздів студент повинен скорегувати.

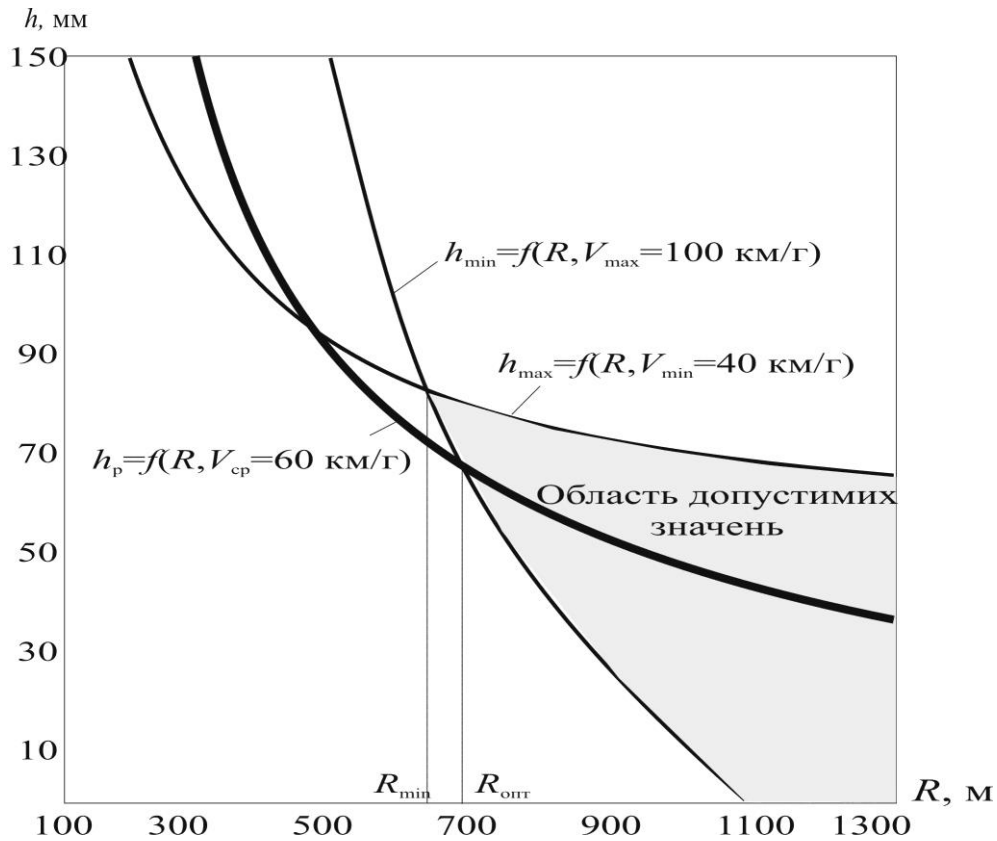


Рис. 4.1. Принципова схема визначення «оптимального» радіусу кривої

Таблиця 4.1

Радіуси кривих в плані, м

Категорії лінії, під'їзної колії	Рекомендовані	Допустимі		
		у важких умовах	в особливо важких умовах	за погодженням з Укрзалізницею
швидкісна	4000-3000	2500	1200	800
I-II	4000-2500	2000-1500	1000	600
III-IV	4000-2000	1500	800	400
V-VI	4000-1200	800	600	300
VII	2000-1000	600	300	200
під'їзні колії	2000-600	500	200	150
з'єднувальні колії	2000-350	250	200	150

Примітка: Якщо за умовами профілю реалізуються швидкості пасажирських поїздів менше 120 км/год, а вантажних менше 60 км/год за згодою з Укрзалізницею допускається застосування кривих з радіусами 300 м на лініях I і II категорії, 250 м – на лініях III-V категорій.

Тоді може виявитися, що найбільша швидкість пасажирських поїздів буде близькою до швидкості руху вантажних поїздів і до середньоквадратичної.

При малій різниці між V_{cp} і V_{max} оптимальний радіус буде невеликим і може прийматися як для особливо важких умов (див. табл. 4.1).

В такому разі доцільно радіус зворотних кривих на відгалуженні прийняти рівним або близьким до радіуса бічної колії стрілочного переводу. Округлення радіуса до найближчого стандартного значення можливе як в меншу так і в більшу сторону (що більш доцільно) по відношенню до радіуса бокової колії стрілочного переводу. У випадку, коли радіус обхідної колії приймається меншим, ніж радіус переводної кривої стрілочного переводу, доцільно передбачити підвищення зовнішньої рейки.

При такому підході до вибору радіуса пасажирські поїзди будуть проходити по кривій з реалізацією прискорення меншого, ніж допустиме $0,7 \text{ м/с}^2$.

5 РОЗРАХУНКИ ПІДВИЩЕННЯ ЗОВНІШНЬОЇ РЕЙКИ В КРИВИХ

5.1 Основні положення

При проході рухомого складу по кривих виникають відцентрові прискорення і відповідні їм відцентрові сили.

Відцентрові прискорення викликають втому пасажирів. Відцентрові сили викликають також додаткове бокове навантаження на колію, перерозподіляють вертикальні навантаження на рейки в кривих і, зокрема, перевантажують зовнішню рейку. Це в свою чергу веде до нерівномірних зносу та накопичення деформацій рейкових ниток. Крім того відцентрова сила може привести до зміщення рейко-шпальної решітки по баласту або рейкової нитки по шпалах, порушуючи таким чином правильне положення колії в плані.

З метою урівноваження дії відцентрової сили роблять підвищення зовнішньої рейки в кривих. За рахунок підвищення створюється доцентрове прискорення і відповідна йому доцентрова сила. За рахунок відповідного підбору підвищення можна досягнути суттєвої компенсації відцентрової сили, зведення до мінімуму перевантаження зовнішньої рейкової нитки, одночасно покращити комфортабельність їзди пасажирів. Однак треба мати на увазі, що занадто велике підвищення, потрібне для компенсації непогашених прискорень швидкісних поїздів, може виявитись надмірним для групи поїздів, що рухаються з малою швидкістю. Це призведе до перевантаження внутрішньої нитки кривої і її більш швидкого зносу або іншим розладам колії.

Таким чином, при виборі підвищення зовнішньої рейкової нитки повинні бути враховані наступні конкретні умови:

– при встановленому радіусі кривої розрахунки підвищення повинні проводитись з техніко-економічних міркувань, тобто за умови забезпечення однакового вертикального впливу на обидві рейкові нитки і зниження горизонтальної дії на колію;

- підвищення повинне забезпечувати комфортабельність їзди пасажирів і не повинне допускати занадто великого перевантаження тієї чи другої нитки вантажними поїздами;
- повинна бути забезпечена надійна стійкість рухомого складу проти перекидання.

5.2 Порядок виконання розрахунку підвищення

У результаті розрахунків повинна бути досягнута відповідність підвищення зовнішньої рейки h поперечним непогашеним прискоренням $\alpha_{\text{нп}}$, максимальній ходовій швидкості V_{max} , середній, зваженій за тоннажем квадратичній (далі середньозваженій) швидкості поїздопотуку V_{cp} і мінімальній V_{min} швидкості руху поїздів. Вимушене обмеження в окремих випадках максимальної швидкості руху найбільш швидких поїздів повинно бути мінімальним.

У відповідності до «Правил...» [2] розрахункове підвищення зовнішньої рейки в кривих визначається за умови забезпечення однакової вертикальної дії на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів за формулою:

$$h_p = \frac{12,5V_{\text{cp}}^2}{R}. \quad (5.1)$$

Розрахункова величина підвищення зовнішньої рейки повинна бути перевірена за умови неперевищення встановленої з вимог комфортабельності їзди пасажирів норми непогашеного прискорення $[\alpha_{\text{нп}}]=0,7 \text{ м/с}^2$ при прямованні пасажирських поїздів з максимальною допустимою швидкістю. Мінімальне підвищення, що задовольняє цій умові, розраховується за формулою:

$$h_{\text{min пас}} = \frac{12,5V_{\text{max пас}}^2}{R} - 115. \quad (5.2)$$

Підвищення зовнішньої рейки, що встановлюється в колії доцільно також перевірити на недопущення перевантаження зовнішньої нитки вантажними поїздами, що рухаються з максимальною швидкістю, за критерієм $\alpha_{\text{нп вантаж}} \leq [\alpha_{\text{нп вантаж}}]=0,3 \text{ м/с}^2$.

Мінімальне підвищення, при якому не буде перевищена допустима норма непогашеного прискорення для вантажних поїздів ($[\alpha_{\text{нп}}]=+0,3 \text{ м/с}^2$), визначається за формулою:

$$h_{\text{min вантаж}} = \frac{12,5V_{\text{max вантаж}}^2}{R} - 49. \quad (5.3)$$

Розмір розрахункового підвищення доцільно також перевірити за умовою

недопущення перевантаження вантажними поїздами внутрішньої рейкової нитки. При занадто великому підвищенні, відбувається значне погашення прискорення. При цьому направлене в середину кривої прискорення за модулем перевищує допустиме ($\alpha_{\text{нп}} < [\alpha_{\text{нп}}] = -0,3 \text{ м/с}^2$). Перевірку виконують за формулою:

$$h_{\text{max}} = \frac{12,5V_{\text{min вант}}^2}{R} + 49 \quad (5.4)$$

У наведених формулах (5.1-5.4):

$V_{\text{max пас}}$ і $V_{\text{max вант}}$ – максимальні швидкості в кривій відповідно пасажирського і вантажного поїздів, км/год;

$V_{\text{ср}}$ – середньозважена швидкість поїздопотоку, км/год;

$V_{\text{min вант}}$ – швидкість, з якою та менше якої у кривій рухається біля 15-20 % поїздів від загальної кількості вантажних поїздів в аналізованому поїздопотоці, км/год;

R – радіус кривої, м.

З розрахованих за формулами (5.1-5.4) підвищень, вибирається значення, яке рекомендується для встановлення в колії $h_{\text{рек}}$. Воно округлюється до значення кратного 5 мм. Це підвищення повинно дорівнювати розрахунковому, визначеному за формулою (5.1), або відрізнятись від нього не більше ніж на величину Δh , яка в сучасних умовах експлуатації не перевищує 25-35 мм. У той же час підвищення, що рекомендується, не повинне бути меншим за значення, одержані за формулами (5.2 і 5.3). Якщо $h_{\text{min}} > h_{\text{р}}$ і різниця між ними буде більше допустимої величини Δh , то розрахункове підвищення збільшують на Δh та обмежують максимальну швидкість руху поїздів, а коли різниця менше Δh , то розрахункове підвищення збільшують до h_{min} без обмеження максимальної швидкості. Вибір залежності, що дає більше значення підвищення, а також попередній приблизний вибір підвищення можна виконувати з допомогою графіків та номограм, наведених у додатку А. Вимоги про неперевищення розрахункового значення підвищення на величину Δh , забезпечуються, якщо підвищення, що рекомендується, не перевищує значення h_{max} , розрахованого за формулою (5.4). Залежність максимального допустимого підвищення від величини мінімальної швидкості наведена на графіку А.3 у додатку А.

У випадку, коли рекомендоване підвищення, отримане за формулами (5.1-5.3), більше за максимальне підвищення h_{max} , тобто має місце велика різниця між максимальними та мінімальними швидкостями, то його доцільно зменшити до значення h_{max} та при доцільності обмежити максимальну швидкість.

5.3 Перевірка рекомендованого підвищення і рекомендації щодо допустимих швидкостей руху

Можливість застосування рекомендованого підвищення або необхідність коригування існуючого в колії підвищення, як і можливість подальшої дії встановленої допустимої швидкості доцільно перевірити за умовою неперевищення допустимих непогашених прискорень $[\alpha_{нп \min}] \leq \alpha_{нп} \leq [\alpha_{нп \max}]$.

Розрахунок величин фактичних непогашених прискорень виконується для максимальних і мінімальних швидкостей за формулою:

$$\alpha_{нп} = \frac{V_{\phi}^2}{3.6^2 R} - 0.00613h, \quad (5.5)$$

де V_{ϕ} – фактична (або планована) максимальна або мінімальна швидкість руху пасажирських і вантажних поїздів, км/год;

h – підвищення, що оцінюється, мм.

Якщо при рекомендованому підвищенні зовнішньої рейки непогашені прискорення будуть більші ніж допустимі, доцільно перш за все уважно розібратися за яких показників порушується непогашене прискорення.

При співставленні одержаних величин прискорень з допустимими можливі кілька варіантів співвідношень. Якщо перевищено норматив $[\alpha_{нп \text{ пас}}]=0,7 \text{ м/с}^2$ або $[\alpha_{нп \text{ в ант}}]=0,3 \text{ м/с}^2$, то доцільно розглянути варіант збільшення підвищення зовнішньої рейки, або знизити максимальну швидкість пасажирських або відповідно вантажних поїздів.

Якщо ж непогашене прискорення у повільних поїздів виявиться менше мінімально допустимого, наприклад $-0,5 \text{ м/с}^2$ (мінімальне допустиме $-0,3 \text{ м/с}^2$), то доцільно розглянути варіант зниження підвищення (воно більше максимального), або розглянути варіанти підвищення швидкості повільних поїздів.

В усіх варіантах при зміні швидкості руху поїздів однієї категорії доцільно уточнити значення середньозваженої швидкості і відповідно розрахункового підвищення. При суттєвому його відхиленні від попереднього значення виникає потреба в повторенні всього комплексу розрахунків.

У випадках обмеження максимальних швидкостей нова допустима швидкість руху розраховується за формулою:

$$V_{\text{дон}} = 3.6 \sqrt{R \cdot ([\alpha_{нп}] + 0.00613 \cdot h_{\text{рек}})}, \quad (5.6)$$

де $[\alpha_{нп}]$ – допустиме прискорення для відповідних категорій поїздів, м/с^2 .

В окремих випадках для зменшення або усунення обмежень найбільшої допустимої швидкості в кривих, що виникли при розрахунках, з дозволу Укр-

залізниці норма непогашеного прискорення для пасажирських поїздів може бути підвищена до наведених $0,7 \text{ м/с}^2$ [3,6].

6 ПРОЄКТУВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ КРИВИХ І РОЗРАХУНОК ЇХ РОЗБИВКИ

6.1 Призначення і форма перехідних кривих

Перехідні криві призначені для сполучення прямих ділянок і кругових кривих залізничної колії, а також кругових кривих різного радіуса між собою. Можна не влаштовувати перехідні криві у випадку сполучення прямих з круговою кривою радіусом 3000 м і більше, або двох кругових кривих при різниці в їх кривизні не більше $1/3000$ [4].

Перехідні криві повинні забезпечувати:

- плавний перехід рухомого складу з одної ділянки на іншу, тобто відсутність раптової появи відцентрових сил в зоні переходу;
- плавний відвід підвищення зовнішньої рейки і розширення колії в кривій.

Докладний виклад і обґрунтування вимог до перехідних кривих наведені в підручнику [1].

При лінійному законі зміни кривизни і підвищення зовнішньої рейки, прийнятому на наших залізницях, перехідна крива описується рівнянням радіоїдальної спіралі.

$$l = \frac{C}{\rho} = Ck, \quad (6.1)$$

де l – відстань від початку перехідної кривої;

ρ, k – радіус і кривизна перехідної кривої на відстані l від її початку;

C – параметр перехідної кривої.

При $l = l_0$ (l_0 – повна довжина перехідної кривої):

$$\rho = R \text{ і } C = l_0 R. \quad (6.2)$$

Рівняння радіоїдальної спіралі в прямокутній системі координат має вигляд:

$$y = \frac{x^3}{6c} \left(1 + \frac{2}{35} \frac{x^4}{c^2} + \frac{293x^8}{237000c^4} + \dots \right). \quad (6.3)$$

В параметричній формі його можна представити так

$$x = l \left(1 - \frac{l^4}{40c^2} + \frac{l^8}{3456c^4} - \dots \right); \quad y = \frac{l^3}{2c} \left(\frac{1}{3} - \frac{l^4}{168c^2} + \frac{l^8}{21120c^4} - \dots \right). \quad (6.4)$$

Часто обмежуються лише першим членом ряду в рівняннях (6.4). тоді, прийнявши $x = l$, маємо:

$$y = \frac{x^3}{6C}, \quad (6.5)$$

що являє собою рівняння кубічної параболи.

Як показали дослідження Г. М. Шахунянця рівнянням (6.5) можна користуватись, коли кут повороту перехідної кривої менше $24^\circ 5' 41''$ та

$$R \geq 1,602^{5/9}. \quad (6.6)$$

6.2 Вибір довжини і параметра перехідної кривої

Довжина перехідної кривої визначається рядом умов, зв'язаних з відводом підвищення зовнішньої рейки в межах перехідної кривої, наявності зазорів між гребенями коліс і рейками, необхідністю забезпечення практичної можливості розбивки і подальшого утримання перехідної кривої.

Наведемо тут лише два критерії вибору довжини перехідної кривої, що дають найбільше її значення.

1. Недопущення сходу коліс з рейок у випадку заклинювання ресор при жорсткій колії. В цьому випадку довжина перехідної кривої (l_0 , м) визначається з умови:

$$l_0 \geq \frac{h}{[i]}, \quad (6.7)$$

де h – підвищення зовнішньої рейки, мм;

$[i]$ – максимальний ухил відводу підвищення, який забезпечує безпеку від сходу коліс з рейок внутрішньої нитки, ‰.

Для найбільш довгобазних існуючих візків ($L=4,6$ м) та встановленої ПТЕ висоті гребеня колеса $m=28$ (30) мм, максимальний ухил не повинен перевищувати 6,5 ‰.

2. Обмеження вертикальної складової швидкості підняття (спуску) колеса по зовнішній рейці. Ця складова не повинна бути більше допустимої.

При малій довжині перехідної кривої взаємодія колеса і рейки зовнішньої нитки в межах відводу підвищення зовнішньої рейки близька до ударної. Щоб не допустити цього обмежують вертикальну складову швидкості підняття колеса величиною f .

На наших залізницях для нормальних умов прийнято значення $f = 28 \text{ мм/с}$ або $1/10 \text{ км/год}$, у важких умовах допускається $f = 35 \text{ мм/с} = 1/8 \text{ км/год}$.

У відповідності з цими значеннями довжина перехідної кривої для нормальних і важких умов експлуатації відповідно визначається за формулами:

$$\left. \begin{aligned} l_0 &\geq 10V_{\max} h \\ l_0 &\geq 8V_{\max} h \end{aligned} \right\}, \quad (6.8)$$

де l_0 і h в м, V_{\max} – в км/год.

З двох значень l_0 , знайдених за формулами (6.7) і (6.8), вибирають більше значення довжини перехідної кривої.

При проектуванні одноколійних ділянок та зовнішньої колії двоколійних ліній при швидкості руху до 100 км/год рекомендується визначати l_0 , виходячи з ухилу відводу $i=1\%$ за формулою:

$$l_0 = 1,0h. \quad (6.9)$$

При швидкості руху 140 км/год $l_0=2,0h$, а в складних умовах $l_0=1,43h$.

Довжина перехідної кривої $l_{\text{вн}}$ на внутрішній колії двоколійної ділянки визначається за формулою:

$$l_{\text{вн}} \geq \sqrt{24Rd + l_3^2}, \quad (6.10)$$

де R – радіус кривої, м;

d – розширення міжколійя в кривій, м;

l_3 – довжина перехідної кривої зовнішньої колії, м.

У таблиці 5.1 наведені рекомендовані та гранично допустимі значення ухилів відводу підвищення в залежності від швидкості руху поїздів, які застосовуються при поточному утриманні колії.

Знайдене у розрахунках значення довжини перехідної кривої доцільно округлити до величини кратної 10 м. Мінімальна довжина перехідних кривих повинна бути не менше 20 м.

За значенням радіуса кругової кривої і довжині перехідної кривої знаходять параметр перехідної кривої $C=l_0R$.

Ухили відводів підвищення зовнішньої рейки в кривих

Рекомендовані	Гранично допустимі	Встановлена швидкість руху поїздів, км/год
0,5	0,7	140
0,7	1,0	120
0,8	1,2	110
1,0	1,4	100
1,2	1,6	90
1,4	1,9	80
1,6	2,3	70
1,9	2,7	60
2,2	3,0	50
2,5	3,1	40
2,8	3,5	25
3,0	4,5	15
	Більше 4,5	Закриття руху поїздів

6.3 Розрахунки розбивки перехідних кривих

Розбивка перехідних кривих може бути здійснена такими способами:

- зміщення центра кривої без зміни радіуса;
- зменшення радіуса без зміни центра кривої;
- способом М. В. Харламова.

Найбільше розповсюдження одержав перший і останній з названих способів. Звичайно метод зміщення центра застосовується на нових лініях. В умовах експлуатації його можна використовувати при можливості здійснення потрібних зміщень колії. На діючих лініях частіше користуються способом М. В. Харламова, оскільки він дає можливість розбивки перехідних кривих при найменших зміщеннях колії.

Нижче приводиться розрахунок розбивки кривої способом зміщення центра.

Для здійснення розбивки доцільно знати основні елементи (рис. 6.1):

T_c – сумарний тангенс кривої;

B_c – сумарна бісектриса;

K_c – повна довжина кривої з перехідними кривими;

m – відстань від початку перехідної кривої до проекції нового центра кривої;

m_0 – відстань від початку перехідної кривої до тангенсного стовпчика кругової кривої;

p – зміщення кругової кривої в нове положення.

Кут повороту перехідної кривої φ_0 знаходять за формулою:

$$\varphi_0 = \frac{l_0^2}{2C} = \frac{l_0}{2R}. \quad (6.11)$$

Відстані m та p визначаються за формулами:

$$m = x_0 - R \sin \varphi_0, \quad (6.12)$$

$$p = y_0 - R(1 - \cos \varphi_0) = y_0 - 2R \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}, \quad (6.13)$$

де x_0 – абсциса, що відповідає повній довжині перехідної кривої (рис. 6.1);

y_0 – ордината кінця перехідної кривої; визначається за формулою (6.4) при $l = l_0$.

Приблизні значення m , p можуть бути отримані з виразу:

$$p = \frac{l_0^2}{24R}, \quad m \approx \frac{l_0}{2}. \quad (6.14)$$

Розбивка перехідних кривих можлива лише за умови:

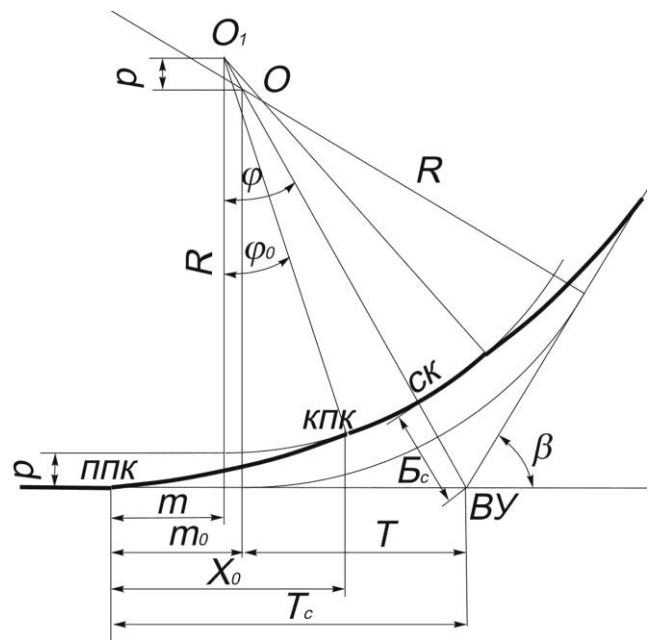


Рис. 6.1. Основні елементи перехідної кривої: ППК – початок перехідної кривої; КПК – кінець перехідної кривої; СК – середина кривої; ВУ – вершина кута повороту.

$$R(\beta - 2\varphi_0) \geq L_{\min}, \quad (6.15)$$

де β – кут повороту лінії; R – радіус кривої; φ_0 – кут повороту лінії в межах перехідної кривої; L_{\min} – мінімальна допустима довжина кругової кривої, що залишається між двома перехідними кривими.

Якщо немає конкретних даних або умов, приймають $L_{\min} = 30 \text{ м}$, у важких умовах $L_{\min} = 15 \text{ м}$. Можна допустити $L_{\min} = 0 \text{ м}$ при умові, що сума уклонів відводів підвищення зовнішньої рейки $i_1 + i_2$, не перевищує $\frac{1}{10}V_{\max}$.

Значення решти елементів кривої визначаються за відомим формулами

$$m_0 = m + p \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (6.16)$$

$$T_c = (R + p) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} + m, \quad (6.17)$$

$$B_c = R \left(\sec \frac{\beta}{2} - 1 \right) + p \sec \frac{\beta}{2}, \quad (6.18)$$

$$K_c = l_0 + \frac{\pi R \beta}{180^\circ}. \quad (6.19)$$

Для розбивки на місцевості перехідної кривої і зміщеної кругової кривої доцільно обчислити координати окремих точок вказаних кривих за наведеними вище рівнянням.

На практиці значення координат визначають по таблицях для розбивки залізничних кривих. При відсутності таблиць координати перехідної кривої x і y , можна визначати за формулами (6.4), приймаючи довжину відрізків від початку перехідної кривої кратну 10 або 20.

При виконанні курсової роботи на першому етапі визначаються тільки основні параметри перехідних кривих (φ_0 , m , p). Детальні розрахунки розбивки доцільно зробити під час загальної компоновки всього об'їзду і внесення можливих при цьому поправок в прийняті рішення.

7 РОЗРАХУНКИ КІЛЬКОСТІ І ПОРЯДКУ УКЛАДКИ УКРОЧЕНИХ РЕЙОК В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ

7.1 Методика розрахунків

На залізницях України прийнято (крім кривих малого радіуса), що стики на правій і лівій нитці знаходяться на одній нормалі до осі колії. Відхилення в розміщенні стиків при укладці колії не повинно перевищувати 1 см (в кривих ділянках колії зверх половини прийнятого укорочення рейок). В процесі

експлуатації величина розбіжності стиків повинна бути не більше 8 см [5].

В кривих ділянках колії довжина внутрішньої рейкової нитки менша зовнішньої внаслідок різниці в радіусах кривизни цих ниток. Для виконання вимог норм [4] в кривих ділянках колії вкладають спеціальні укорочені рейки по внутрішній нитці. При довжині рейок 25 м стандартна величина укорочення становить 80, 160 мм. На ділянках, що експлуатуються є рейки довжиною 12,5 м, для яких встановлено укорочення 40, 80 і 120 мм.

Необхідна величина укорочення рейок внутрішньої нитки кривої визначається за формулою

$$e_n = S_1 \beta, \quad (7.1)$$

де S_1 – відстань між серединами головок рейок. ($S_1 = 1600$ мм);

β – кут повороту кривої, рад.

Доцільно зазначити, що загальне укорочення внутрішньої рейкової нитки не залежить від форми елементів, що складають криву, бо сума кутів, що відповідають кожному елементу, дорівнює загальному куту повороту кривої.

В тих випадках, коли крива складається з перехідних і кругової кривих, повний кут повороту становить:

$$\beta = \beta_1 + 2\varphi_0, \quad (7.2)$$

де $\beta_1 = \frac{L_{\text{КК}}}{R}$ – центральний кут в межах кругової кривої $L_{\text{КК}}$, що залишається після влаштування перехідних кривих;

φ_0 – кут повороту в межах перехідної кривої, $\varphi_0 = l_0^2 / 2C = l_0 / 2R$.

Довжина кругової кривої після влаштування перехідних кривих визначається за формулою:

$$L_{\text{КК}} = R(\beta - 2\varphi_0). \quad (7.3)$$

Укорочення внутрішньої нитки кривої підраховується за формулами:

– для перехідної кривої

$$e_{\text{ПК}} = S_1 \frac{l_0^2}{2C} = S_1 \frac{l_3^2}{2C_3}, \left\{ \text{де } R_3 = R + 0,5S_1, l_3 = 2\varphi_0 R_3, C_3 = l_3 R_3 \right\}; \quad (7.4)$$

– для кругової кривої

$$e_{\text{КК}} = S_1 \frac{L_{\text{КК}}}{R} = S_1 \frac{L_{\text{КК3}}}{R_3}. \quad (7.5)$$

У формулах (7.4, 7.5) та у наступних індекс «з» вказує на те, що змінні визначаються не для осі колії, а для зовнішньої нитки кривої.

Повне укорочення e_n внутрішньої нитки для кривої, яка складається з кругової кривої $L_{\text{кк}}$ і двох однакових перехідних кривих довжиною l_0 дорівнює

$$e_n = e_{kk} + 2e_{nk}. \quad (7.6)$$

Загальне укорочення на круговій і перехідних кривих можна підрахувати, підставляючи в формули (7.4) і (7.5) параметри по осі колії або по зовнішньої нитці. В цьому випадку формула (7.6) після підстановки значень буде мати вигляд:

$$e_n = S_1 \left(\frac{L_{\text{кк}}}{R} + \frac{l_0^2}{C} \right) = S_1 \left(\frac{L_{\text{ккз}}}{R_3} + \frac{l_{0з}^2}{C_3} \right). \quad (7.7)$$

Розрахунки кількості і порядку укладки укорочених рейок в кривій виконується в наступній послідовності.

Знаходять довжину кругової кривої, що залишилась після влаштування перехідних кривих за формулою (7.3).

Підраховують повне укорочення внутрішньої нитки за формулою (7.6) або (6.7) і визначають кількість укорочених рейок N за формулою:

$$N = \frac{e_n}{k_i}, \quad (7.8)$$

де k_i – прийнята величина стандартного укорочення рейки.

Якщо N не являється цілим числом, приймають найближче більше ціле.

В межах однієї кривої доцільно вкладати рейки однією (однаковою) величиною укорочення. Це дозволяє мати у щокілометровому запасі для кривої ділянки колії укорочені рейки з одним укороченням.

Критерієм придатності того чи іншого стандартного укорочення для кривої заданого радіуса може бути така залежність:

$$k_i \geq \frac{S_1 l_n}{R_3}, \quad (7.9)$$

де l_n – довжина стандартних (не укорочених) рейок в кривій з урахуванням зазорів в стиках.

При довжині рейок 25 м можна вкладати укорочені на 160 мм рейки в кривих радіусом $R \geq 250$ м, а на 80 мм – в кривих $R \geq 500$ м.

Далі визначають порядок укладки укорочених рейок.

Всі розрахунки доцільно виконувати в табличній формі (див. табл. 7.1). Розрахунки і заповнення таблиці виконуються в такому порядку.

1. Встановлюють положення перших стиків A_1, A_2, A_3, A_4 на перехідних і круговій кривих і на наступній прямій (рис. 7.1) та визначають відповідні відстані до них b_i .

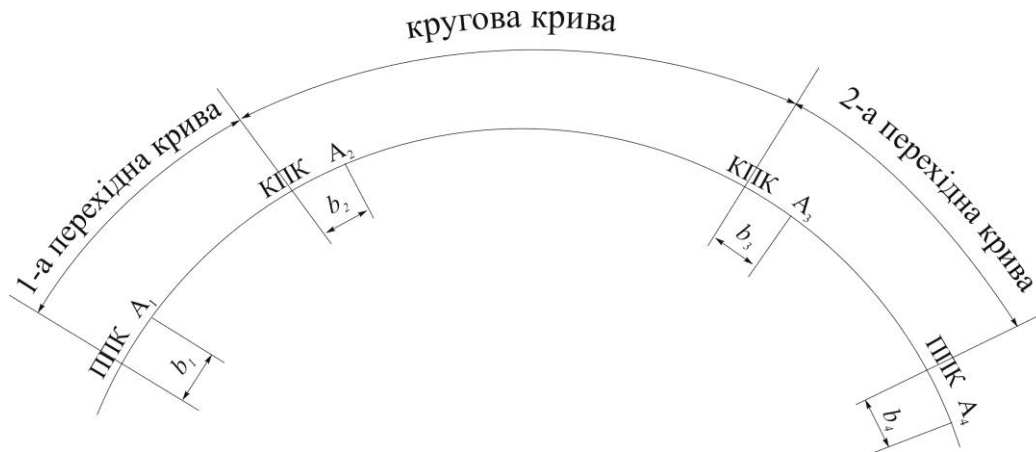


Рис. 7.1. Схема положення перших стиків на елементах кривої

2. Записують в графу 1 таблиці 7.1 номери ланок колії, що повністю або частково розташовані на відповідній кривій. В другій графі вказують місце знаходження ланки колії – перша перехідна, кругова або друга перехідна крива, а в третій – довжина рейок зовнішньої нитки кривої з врахуванням стикових зазорів. Величина стикових зазорів залежить від температури і в курсовій роботі приймається $8 \dots 10 \text{ мм}$. На стиках перехідних кривих з прямою і круговою кривою в третій графі відповідно місцю розміщення окремо вказується кожна частина довжини рейки.

3. В графі 4 записують наростаючим підсумком суму довжин рейок на кожній ділянці кривої, що являється контролем для графи 3. Сума довжин рейок в кінці перехідної кривої повинна дорівнювати довжині зовнішньої нитки перехідної кривої, в кінці кругової – довжині кругової кривої по зовнішній рейковій нитці.

4. В графу 5 записують потрібні укорочення, підраховані за формулами (7.4) і (7.5) відповідно для рейок, розміщених на ділянці першої перехідної кривої і кругової кривої.

Розрахунки потрібних укорочень в межах другої перехідної кривої виконують за формулою:

$$e_i = e_n - \left(\frac{S_1 (l_3 - x_i)^2}{2C_3} \right), \quad (7.10)$$

де x_i – відстань від кінця перехідної кривої до відповідного стика, тобто сума довжин рейок на ділянці другої перехідної кривої по графі 4.

5. В графу 6 записують місце фактичної укладки укороченої рейки і величину її укорочення. Місце укладання встановлюється з урахуванням вимог п.7.

6. В графі 7 дається сума фактичних укорочень, тобто сума величин графи 6.

7. В графу 8 записують різницю величин граф 5 і 7. Ця різниця за абсолютною величиною не повинна перевищувати половини прийнятого укорочення. В графі 8 знак плюс перед величиною розбіжності стиків стоїть, коли потрібне укорочення більше фактичного, що відповідає забігу стиків по внутрішній нитці відносно стиків по зовнішній нитці. При відставанні стиків внутрішньої нитки буде знак мінус.

7.2 Приклад розрахунків

Вихідні дані рейки типу $P65$ довжиною 25 м ; $R = 1000\text{ м}$; $\beta = 15^\circ$; $S_1 = 1600\text{ мм}$; $l_0 = 160\text{ мм}$; $b_1 = 3,0\text{ м}$; $C = 160000\text{ м}^2$.

Знайдемо кут φ_0 за формулою (6.11)

$$\varphi_0 = \frac{l_0^2}{2C} = \frac{160^2}{2 \cdot 160000} = 0,08\text{ рад.} = 4^\circ 34' 48'' = 4,58^\circ.$$

Довжина зовнішньої рейкової нитки в межах перехідної кривої буде дорівнювати

$$l_3 = 2\varphi_0 R_3 = 2 \cdot 0,08 \cdot 1000,8 = 160,13\text{ м.}$$

Довжину зовнішньої нитки частини кругової кривої, що залишилась після влаштування перехідних кривих знайдемо за формулою (7.3)

$$L_{\text{ккз}} = 1000,8 \cdot (15^\circ - 2 \cdot 4,58^\circ) \cdot 0,017453 = 102,0\text{ м.}$$

За формулою (7.6) знайдемо повне укорочення внутрішньої нитки кривої:

$$e_n = \frac{1600 \cdot 102,0}{1000,8} + \frac{1600 \cdot 160,13^2}{1000,8 \cdot 160,13} = 163,0 + 256,0 = 419,0\text{ мм.}$$

Знайдемо укорочення на довжині рейки $l = 25\text{ м}$ (7.9).

$$k = \frac{1600 \cdot 25}{1000,8} = 39,96\text{ мм.}$$

Приймаємо стандартне укорочення $k_i = 80\text{ мм}$.

Кількість укорочених рейок, які доцільно покласти на кривій ділянці колії, знаходимо за формулою (7.8)

$$N = \frac{419}{80} = 5,24 \approx 5\text{ рейок.}$$

Знайдемо значення забігів b_1 , b_2 , b_3 і b_4 . При укладці по зовнішній нитці

кривої рейок довжиною 25 м (з врахуванням зазору 10 мм – 25,01 м).

Задано $b_1 = 3,0$ м.

На перехідній кривій розміститься така кількість рейок

$$n = \frac{160,13 - 3}{25,01} = 6 \text{ рейок (залишок 7,07 м)}.$$

Сьома рейка заходить на кругову криву на величину

$$b_2 = 25,01 - 7,07 = 17,94 \text{ м}.$$

На круговій кривій розміститься наступне число рейок

$$n_2 = \frac{102 - 17,94}{25,01} = 3 \text{ рейки (залишок 9,03 м)}.$$

Одинадцята рейка зайде на другу перехідну криву на довжину

$$b_3 = 25,01 - 9,03 = 15,98 \text{ м}.$$

На другій перехідній кривій розміститься

$$n_3 = \frac{160,13 - 15,98}{25,01} = 5 \text{ рейок (залишок 19,10)}.$$

Сімнадцята рейка зайде на пряму на довжину

$$b_4 = 25,01 - 19,10 = 5,91 \text{ м}.$$

Загальна кількість рейок нормальної довжини на зовнішній нитці дорівнює

$$N_n = n_1 + n_2 + n_3 + 2 = 16 \text{ рейок}.$$

Загальна довжина зовнішньої нитки кривої

$$L_3 = 160,13 + 102 + 160,13 = 422,26 \text{ м}.$$

При цьому 17-а рейка заходить на пряму на величину

$$b_4 = 25,01 \cdot 17 + 3 - 422,26 = 5,91 \text{ м}.$$

Ці підрахунки є контролем правильності обчислень.

Для заповнення графі 5 таблиці виконаємо розрахунки укорочень внутрішньої нитки від початку кривої до кожного стика за формулами (7.4), (7.5), (7.10).

Ділянка першої перехідної кривої

$$e_i = \frac{1600 \cdot l_i^2}{2 \cdot 160258} = 0,00499 l_i^2 \approx 0,005 l_i^2,$$

де l_i – відстань від початку перехідної кривої до стика, для якого визначається величина укорочення.

$$e_0 = 0,005 \cdot 3,0^2 = 0 \text{ мм},$$

$$e_1 = 0,005 \cdot 28,01^2 = 4 \text{ мм},$$

...

$$e_{7(1)} = 0,005 \cdot 160,13^2 = 128 \text{ мм}.$$

Ділянка кругової кривої

$$e_i = e_{nk} + \frac{1600 \cdot l_i}{1000,8} \approx 128 + 1,6l_i,$$

де l_i – відстань від початку кругової кривої до стику, який розглядається.

$$e_{7(2)} = 128 + 1,6 \cdot 17,94 = 157 \text{ мм}, \quad e_8 = 128 + 1,6 \cdot 42,95 = 197 \text{ мм},$$

...

$$e_{11(1)} = 128 + 1,6 \cdot 102 = 291 \text{ мм}.$$

Ділянка другої перехідної кривої

$$e_{11(2)} = 419 - 0,005(160,13 - 15,98)^2 = 315 \text{ мм},$$

$$e_{12} = 419 - 0,005(160,13 - 40,99)^2 = 348 \text{ мм},$$

...

$$e_{17(1)} = 419 - 0,005(160,13 - 160,13)^2 = 419 \text{ мм}.$$

Всі розрахунки виконані в табличній формі (табл. 7.1). Неспівпадання стиків не перевищує за абсолютним значенням половини стандартного укорочення (40 мм). У результаті обчислень знайдено порядок укладки укорочених рейок, який зображено на рис. 7.2.

Таблиця 7.1

Розрахунок укладки укорочених рейок

№ рейки	Місце знаходження рейки	Довжина рейок з врахуванням зазорів	Сумарна довжина рейок по елементах кривої, м	Сума потрібних укорочень, мм	Величина фактичного укорочення кожної рейки, мм	Сума фактичних укорочень, мм	Неспівпадання стиків, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
0	Перша перехідна крива	3,00	0	0	0	0	0
1		25,01	28,01	4	0	0	4
2		25,01	53,02	14	0	0	14
3		25,01	78,03	30	0	0	30
4		25,01	103,04	53	80	80	-27
5		25,01	128,05	83	0	80	3
6		25,01	153,06	117	0	80	37
7 ₁		7,07	160,13	128	-	-	-
7 ₂	Кругова крива	17,94	17,94	157	80	160	-3
8		25,01	42,95	197	0	160	37
9		25,01	67,96	237	80	240	-3
10		25,01	92,97	277	0	240	37
11 ₁		9,03	102,0	291	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
11 ₂	Друга	15,98	15,98	315	80	320	-5
12	перехідна	25,01	40,99	349	0	320	29
13	крива	25,01	66,00	375	80	400	-25
14		25,01	91,01	395	0	400	-5
15		25,01	116,02	409	0	400	9
16		25,01	141,03	417	0	400	18
17		19,10	160,13	419	0	400	19

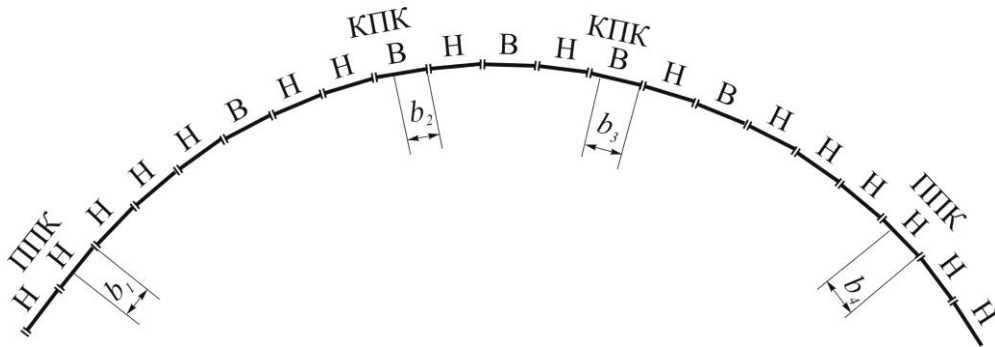


Рис. 7.2. Схема укладання вкорочених рейок
Н – нормальна рейка, В – вкорочена рейка.

8 РОЗРАХУНКИ ШИРИНИ КОЛІЇ

8.1 Ширина колії в прямих

Ширина колії в прямих S пов'язана з геометричними характеристиками колісних пар (розміри насадки T , товщина гребенем h , ширини колісної колії q) та зазорами між гребенями коліс та рейками δ (рис. 8.1). Для забезпечення оптимальної взаємодії рухомого складу та залізничної колії, ширина колії для прямих ділянок із дерев'яними і залізобетонними шпалами встановлена 1520 мм [5]. Фактично в колії вона вимірюється на рівні 13 мм нижче поверхні катання коліс між внутрішніми бічними гранями голівок рейок.

Відхилення від установлених розмірів ширини колії на прямих і кривих ділянках колії на дерев'яних шпалах не повинні перевищувати на збільшення рейкової колії +8 мм, на звуження -4 мм. Оцінка відступів, які перевищують розміри, що припускаються, визначені [6].

Ширина колії більше 1548 і менше 1510 мм не допускається.

Сумарний зазор між рейками та гребенями коліс визначають за формулою

$$\delta = S - q = S - (T + 2h + 2\mu), \quad (8.1)$$

де 2μ – збільшення товщини розміру між внутрішніми гранями гребенів коліс у розрахунковому січенні у порівнянні з насадкою коліс T .

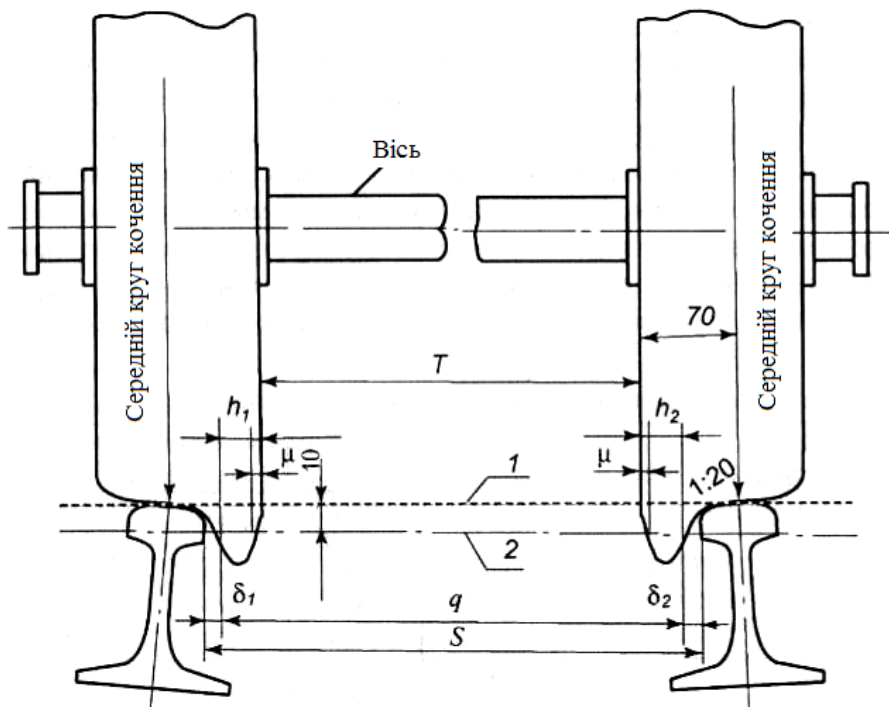


Рис. 8.1 Розташування колісної пара на рейках:
1- рівень кочення; 2- розрахунковий рівень.

8.2 Ширина колії в кривих

Ширина колії в кривих визначається умовами вписування в них рухомого складу. Вписування це процес взаємодії ходових частин рухомого складу з рейковою колією. Під час руху екіпажу у кривій його ходові частини можуть приймати різноманітні положення, які залежать від наступних факторів: радіуса кривої, радіуса коліс рухомого складу, величини жорсткої бази, конструктивних особливостей ходових частин рухомого складу та силового впливу рухомого складу на колію. Жорсткою базою називають відстань між крайніми осями візка (екіпажу – при відсутності візків), що залишаються під час руху взаємно паралельними.

Розрахунок ширини колії проводять на підставі геометричних (кінематичних) або динамічних характеристик. У курсовій роботі виконується тільки геометричне вписування. На сьогодні існує наступна класифікація видів геометричного вписування: вільне, примусове та заклинене (рис. 8.1, 8.2).

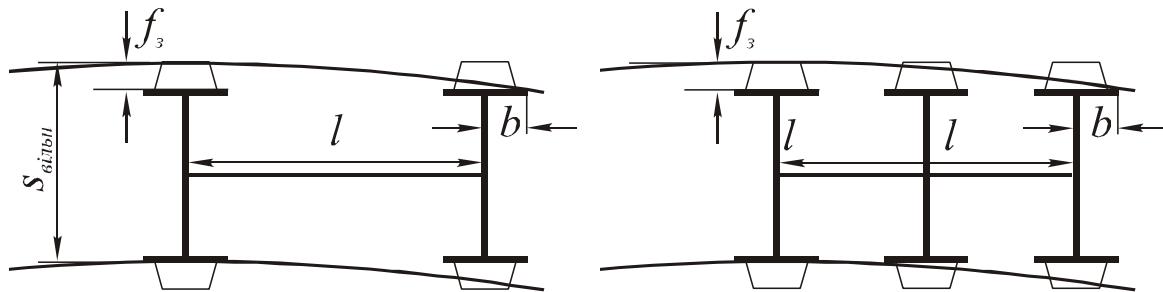


Рис. 8.1 Схема вільного вписування без розбігів

При вільному вписуванні рух екіпажа направляється тільки зовнішньою рейковою ниткою кривої, а друга (задня) вісь жорсткої бази розміщується радіально. Це вписування найбільш оптимальне з точки зору зносу рейок і коліс та витрат енергії на рух поїздів.

При заклиненому вписуванні колісні пари жорсткої бази не мають ніякої поперечної свободи і гребені всіх коліс торкаються рейок. Це вписування визначає мінімальну допустиму ширину колії. В нормальних умовах експлуатації заклинене вписування не допускається.

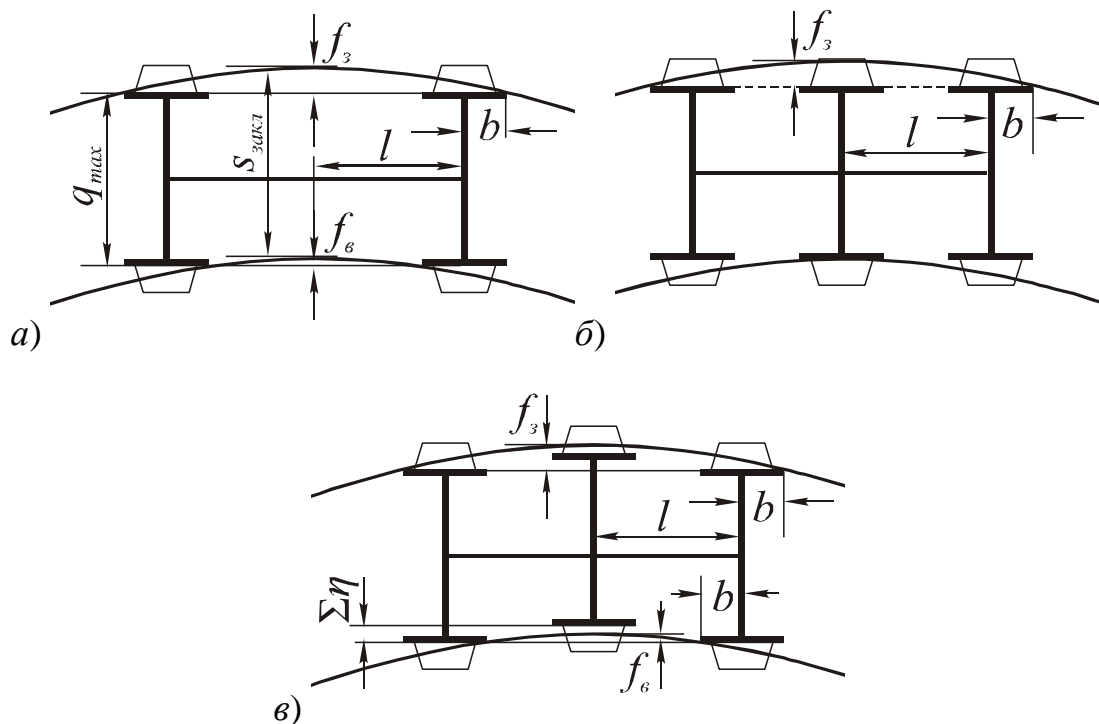


Рис. 8.2 Схема заклиненого вписування: а), б) без розбігів; в) з розбігами

Проміжне положення жорсткої бази візка між вільним та заклиненим вписуванням характеризує примусове вписування. Рух екіпажа за таким вписуванням направляється обома рейковими нитками – гребінь внутрішнього

заднього колеса також торкається рейки. Центр повороту при цьому знаходиться між серединою жорсткої бази і задньою віссю.

Вписування при якому ширина колії більше, ніж при заклиненого вписуванні, на половину мінімального зазору в прямій ($\delta_{\min}/2$) прийнято називати нормально-примусовим вписуванням, яке допускається в основному тільки для локомотивів. Ширина колії, при якій відбувається таке вписування, називається мінімально допустимою.

Враховуючи вище зазначене, для забезпечення мінімального опору руху поїзда і зносу елементів колії і ходових частин рухомого складу ширина колії повинна забезпечувати для локомотивів і довгобазних екіпажів не гірше ніж нормально-примусове вписування, а для вагонів – вільне.

Для будь якого виду вписування ширину колії можна визначити за узагальненою формулою:

$$S = q_{\max} + f_3 - f_B + 4 - \sum \eta, \quad (8.2)$$

де q_{\max} – максимальна ширина колісної пари, мм;

f_3 – зовнішня стріла вигину рейкової нитки, мм;

f_B – внутрішня стріла вигину рейкової нитки, мм;

4 – допуск на звуження рейкової колії, мм;

$\sum \eta$ – сума поперечних розбігів осей, мм.

Стріли вигину визначають за формулою:

$$f = \frac{\lambda^2}{2 \cdot R}, \quad (8.3)$$

де λ – відстань від центру повороту візка до точки контакту гребеня колеса з рейкою, мм;

R – радіус кривої, мм.

Відстань від центру повороту візка до точки контакту гребеня колеса з рейкою визначається за формулою:

$$\lambda = l \pm b, \quad (8.4)$$

де l – відстань від центру повороту візка до осі колісної пари, що контактує з рейкою, мм;

b – відстань від осі колісної пари до точки контакту гребеня колеса з рейкою (забіг), мм, «+» – для зовнішньої рейки, «-» – для внутрішньої рейки.

Величину забігу b для випадку незношених гребенів коліс (як для самого несприятливого випадку з точки зору визначення ширини колії) можна у

першому наближенні визначити за наступною формулою:

$$b = \frac{l \cdot r \cdot \operatorname{tg} \tau}{R_i}, \quad (8.5)$$

де r – радіус колеса, мм;

τ – кут нахилу гребеня коліс, мм (60° – для вагонів, 70° – для локомотивів).

При визначенні ширини колії при вільному вписуванні дво- та тривісних візків в формулі (8.2) внутрішню стрілу дорівнюють нулю ($f_b=0$). Якщо сумарний поперечний розбіг перевищує розраховану внутрішню стрілу тоді величину сумарного розбігу в формулі (8.2) дорівнюють розрахунковій внутрішній стрілі.

Ширину колії при заклиненому вписуванні двовісних візків визначають за формулою (8.2). При цьому сумарний поперечний розбіг не враховують.

Ширину колії при заклиненому вписуванні тривісних візків без сумарного поперечного розбігу визначають за формулою (8.2). Для симетричних візків внутрішня стріла дорівнює нулю. При заклиненому вписуванні тривісних візків з сумарним поперечним розбігом ширину колії також визначають за формулою (8.2), але при цьому віднімається або тільки внутрішня стріла, або сумарний розбіг (менше значення з цих двох величин).

В курсовій роботі доцільно визначити ширину колії в кривій при вільному, заклиненому та нормально-примусовому вписуваннях, порівняти її з існуючими нормами і допусками та зробити рекомендації, щодо найбільш раціональної ширини колії для заданої кривої.

9 РОЗРАХУНОК УМОВ УКЛАДАННЯ РЕЙКОВИХ ПЛІТЕЙ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ

9.1 Визначення допустимих інтервалів зміни температури рейкових плітей

Можливість укладання безстикової колії та спосіб її експлуатації визначається міцністю рейкових плітей та стійкістю колії проти викиду.

Найбільша допустима з умов міцності рейки зміна температури рейкової пліті порівняно з її температурою закріплення в сторону зниження (по міцності підшви):

$$[\Delta t_p] = \frac{[\sigma] - \sigma_{кп} \cdot K_{II}}{\alpha \cdot E} \approx \frac{[\sigma] - \sigma_{кп} \cdot K_{II}}{2,5}, \quad (9.1)$$

де $\sigma_{кп}$ – напруження в кромках підшви рейки від вигину та кручення під

- навантаженням від рухомого складу, МПа;
- K_{II} – коефіцієнт запасу міцності ($K_{II} = 1,3$ для рейок першого терміну служби; $K_{II} = 1,4$ для рейок, що пропустили нормативний тиск);
- $[\sigma]$ – допустимі напруження ($[\sigma] = 350$ МПа - для нових незагартованих рейок, $[\sigma]=400$ МПа - для нових термічно зміцнених рейок);
- α – коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha = 1,18 \cdot 10^{-5}$ 1/град для рейкової сталі);
- E – модуль пружності рейкової сталі ($E=2,1 \cdot 10^5$ МПа).

При дії стискуючих сил раніше настає втрата стійкості колії, а не втрата міцності рейок. Тому допустима зміна температури рейкових плітей в сторону підвищення визначається з умов забезпечення стійкості колії проти викиду:

$$[\Delta t_c] = \frac{[P_{t-c}]}{2 \cdot \alpha \cdot E \cdot F_1}, \quad (9.2)$$

де $[P_{t-c}]$ – допустима температурна сила за умов стійкості колії;

F_1 – площа поперечного перерізу рейки.

Значення допустимих температурних сил рейкових плітей порівняно з температурою їх закріплення в сторону підвищення і в сторону зниження визначені для найбільш поширених сучасних типових конструкцій безстикової колії й умов експлуатації та наведені відповідно в табл. Д.3.1 і табл. Д.3.2. додатку 3 [7]. Допустимі зниження температури визначені для безстикової колії з загартованими рейками першого терміну служби на залізобетонних шпалах і щебеновому баласті.

9.2 Визначення температурних умов закріплення і експлуатації рейкових плітей

При визначенні можливості укладання безстикової колії та способу її експлуатації фактична температурна амплітуда T_A – найбільша, що спостерігалась в даній місцевості, порівнюється з амплітудою допустимих змін температур рейок $[T]$.

Фактична температурна амплітуда визначається як алгебраїчна різниця найвищої $t_{max\ max}$ та найнижчої $t_{min\ min}$ температур рейки, які спостерігались у даній місцевості (найбільша температура рейки на 20°C перевищує температуру повітря):

$$T_A = t_{max\ max} - t_{min\ min}. \quad (9.3)$$

Дані про екстремальні температури рейок у різних пунктах мережі залізниць України наведені в додатку 2 [7].

Допустима температурна амплітуда визначається за формулою:

$$[T] = [\Delta t_p] + [\Delta t_c] - [\Delta t_3], \quad (9.4)$$

де $[\Delta t_3]$ – мінімально допустимий інтервал температур, в якому остаточно закріплюються пліті; приймається, як правило, 10°C , але якщо передбачати закріплення плітей в час, коли температура рейок в процесі закріплення змінюється повільно (восени, в похмуру погоду, в ранкові або вечірні години), його можна зменшити до 5°C .

Якщо при розрахунках виявилось, що $T_A < [T]$, то безстикову колію можна укладати, причому температурно-напруженого типу, тобто експлуатувати без сезонних розрядок температурних напружень. Неодмінною умовою укладання такої конструкції є закріплення рейкових плітей в межах розрахункового інтервалу

$$\Delta t_3 = [\Delta t_p] + [\Delta t_c] - T_A. \quad (9.5)$$

Межі інтервалу закріплення, тобто найнижча $\min t_3$ та найвища $\max t_3$, визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \min t_3 &= t_{\max \max} - [\Delta t_c] \\ \max t_3 &= t_{\min \min} + [\Delta t_p]. \end{aligned} \quad (9.6)$$

Якщо $T_A > [T]$, то має місце конструкція безстикової колії з сезонними розрядками температурних напружень.

9.3 Додаткові вимоги до температурних умов закріплення і експлуатації рейкових плітей

Слід враховувати, що закріплення плітей при дуже високих температурах може призвести до утворення великого зазору при наскрізному зламі пліті або до великого розходження кінців рейок при розриві стикових болтів зрівнювальних прольотів в холодну погоду.

Величину зазору (в мм), що утворюється при зламі пліті, виходячи із нормативного погонного опору поздовжньому переміщенню 25 кН/м , можна визначити за формулою:

$$\lambda = A \cdot \Delta t_p^2, \quad (9.7)$$

а збільшення початкових зазорів між кінцями плітей і рейок зрівнювальних прольотів з урахуванням опору стиків – за формулою:

$$\Delta \lambda = 0,5 \cdot A \cdot (\Delta t_p - 7)^2, \quad (9.8)$$

де Δt_p – зниження температури рейкової пліті по відношенню до температури її закріплення;

A – коефіцієнт пропорційності, що становить: 0,0076 для рейок Р50; 0,0089 для рейок UIC60; 0,0096 для рейок Р65; 0,01089 для рейок Р75.

Виходячи з того, що величина зазору при зламі рейки не повинна перевищувати 50 мм, а величина початкових зазорів у зрівнювальних прольотах становить 10 мм, в табл. Д.1.1 [7] наведені значення допустимого зниження температури рейкових плітей з умов максимального розкриття зазору при зламі рейкової пліті та забезпечення міцності стикових болтів зрівнювальних прольотів залежно від їх конструкції.

На металевих мостах з безбаластним мостовим полотном верхню межу температурного інтервалу також визначають з умови максимально допустимого розкриття зазору у випадку зламу рейки при особливо низьких температурах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Даніленко Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підруч. для вищ. навч. закл. : у 2 т. / Е. І. Даніленко. – Київ: Інпрес, 2010.
2. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії. ЦП-0236. Затверджено наказом від 14.12.2010 р. № 778-Ц.
3. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП-0269. – Київ, 2012. – 456 с.
4. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Залізничі колії 1520 мм. Норми проектування. ДБН В.2.3-19-2018. Наказ мін. регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ від 28.09.2018 № 261.
5. СТП 01-005:2016. Рух пасажирських поїздів прискорений. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. Затверджено наказом ПАТ «Укрзалізниця» від 29.04.2016 р. № 343. Київ. – С. 87.
6. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. ЦП-0267 № 033-Ц 01.05.2012 р
7. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України. ЦП-0266. Затверджено наказом від 01.02.2012 р. № 033-Ц.
8. ДСТУ 9002 Споруди транспорту, класифікація, періодичність, призначення та проведення планово-запобіжних ремонтів залізничних колій. – Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2021.

ДОДАТОК А

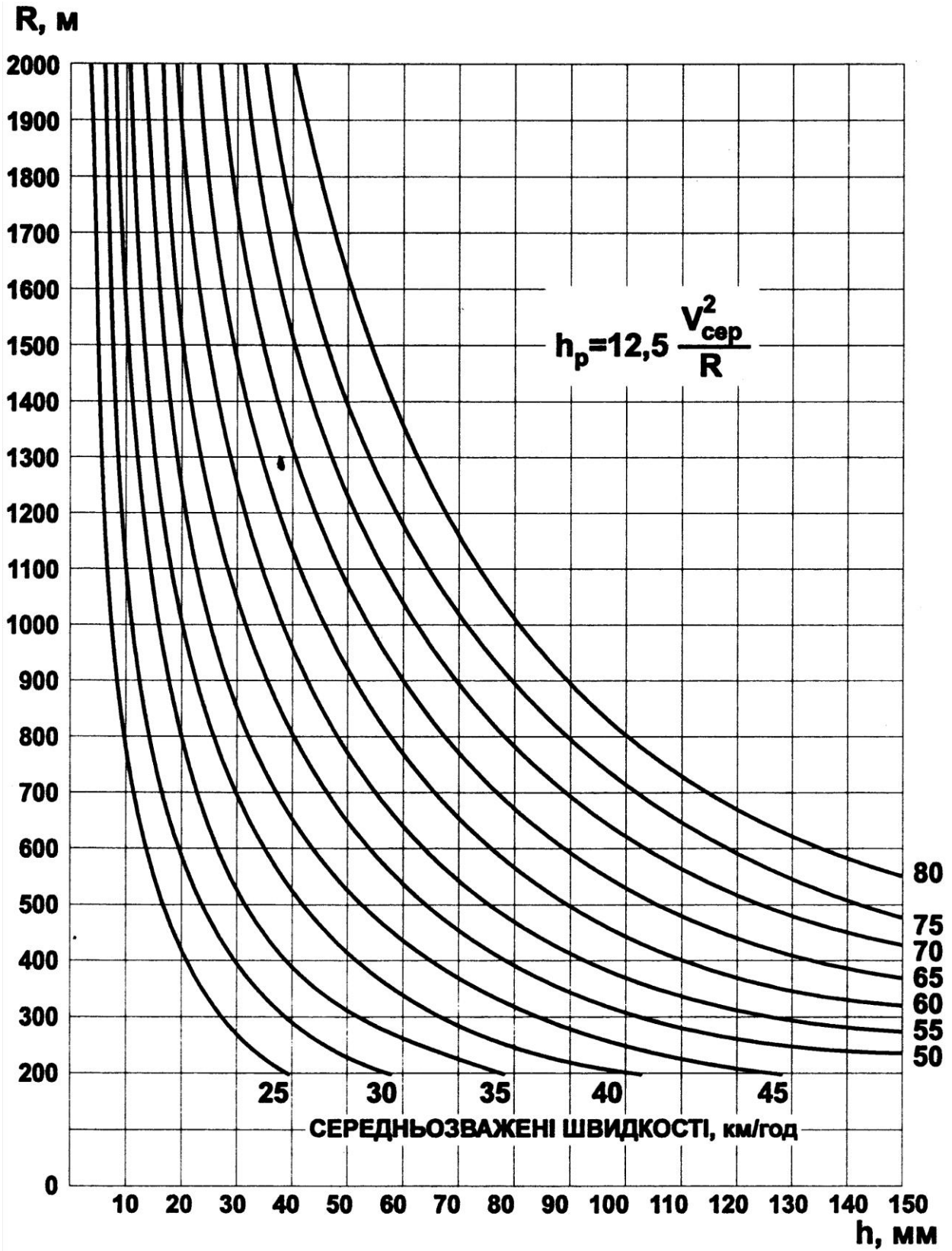


Рис. А.1. Графік для визначення розрахункового підвищення

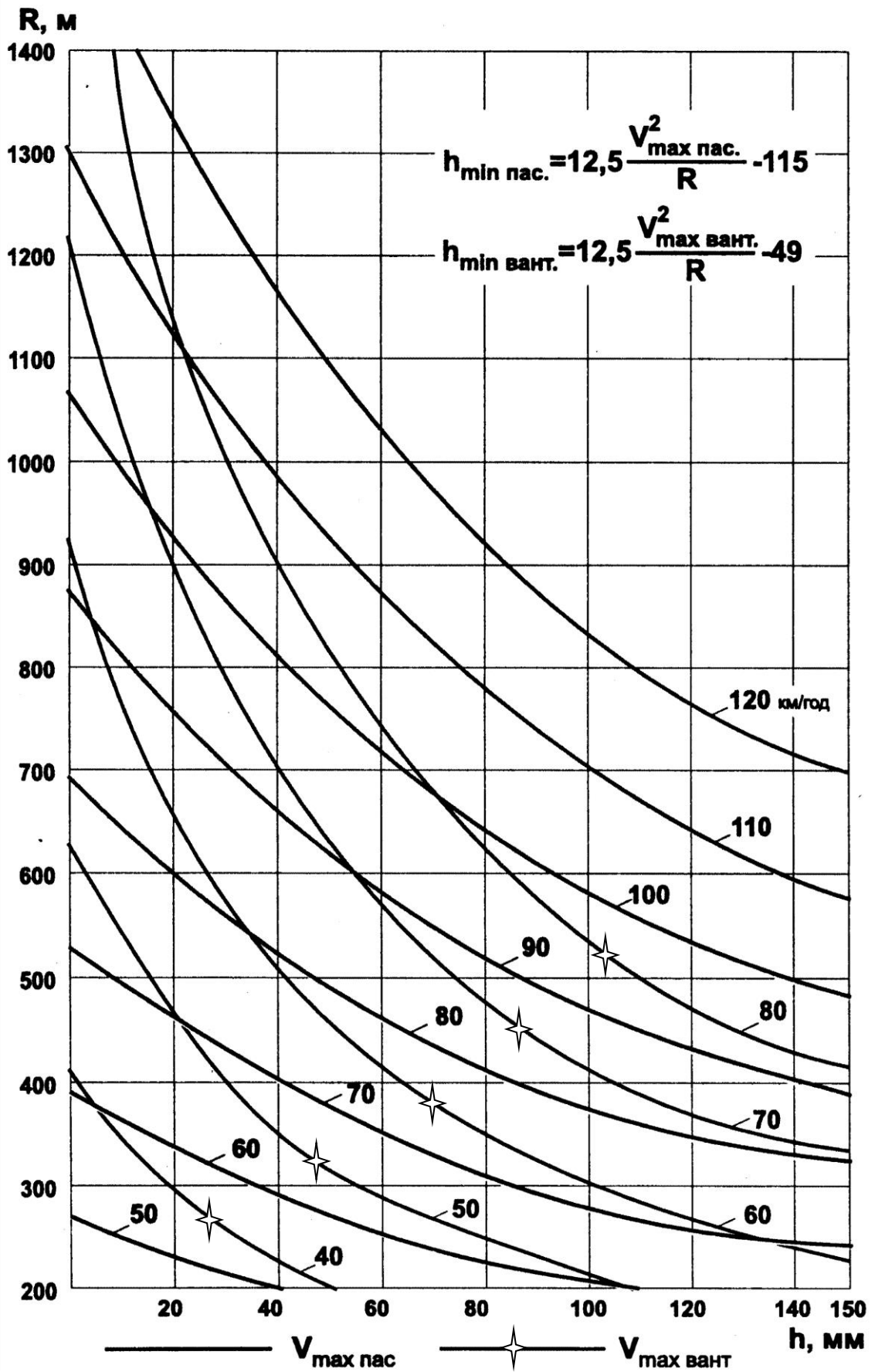


Рис. А.2. Графік для визначення мінімального підвищення

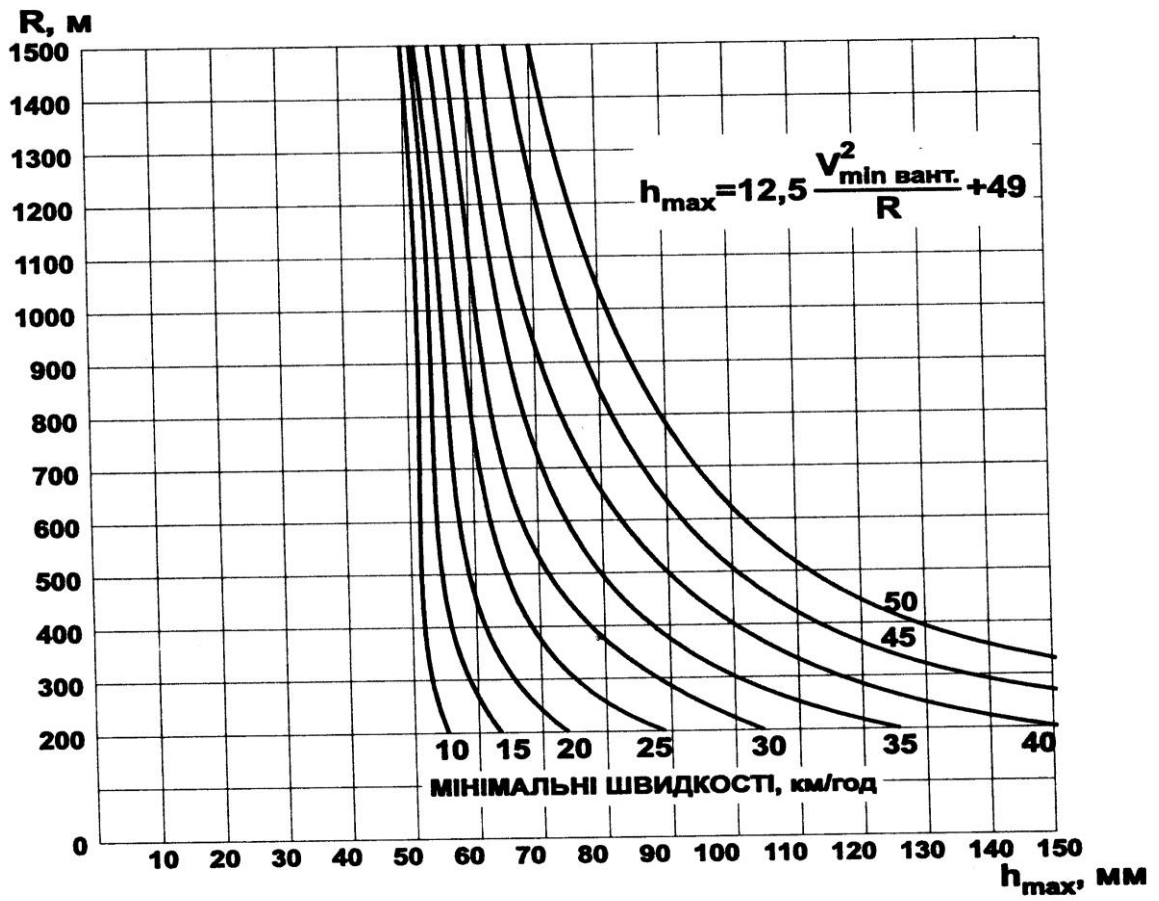


Рис. А.3. Графік для визначення максимального підвищення

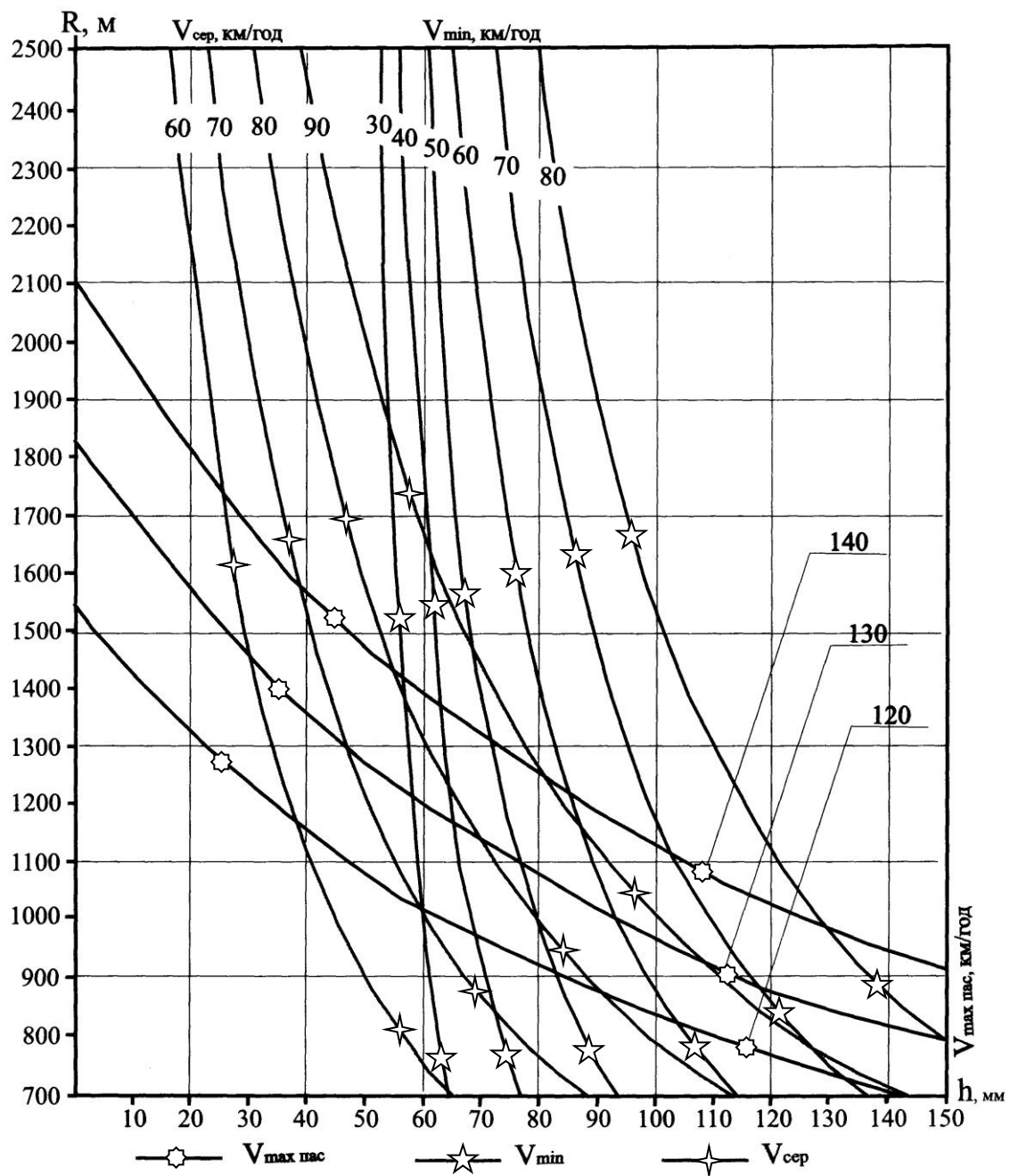


Рис. А.4. - Графік для визначення допустимих швидкостей руху по кривих на ділянках сумісного пасажирського та вантажного руху

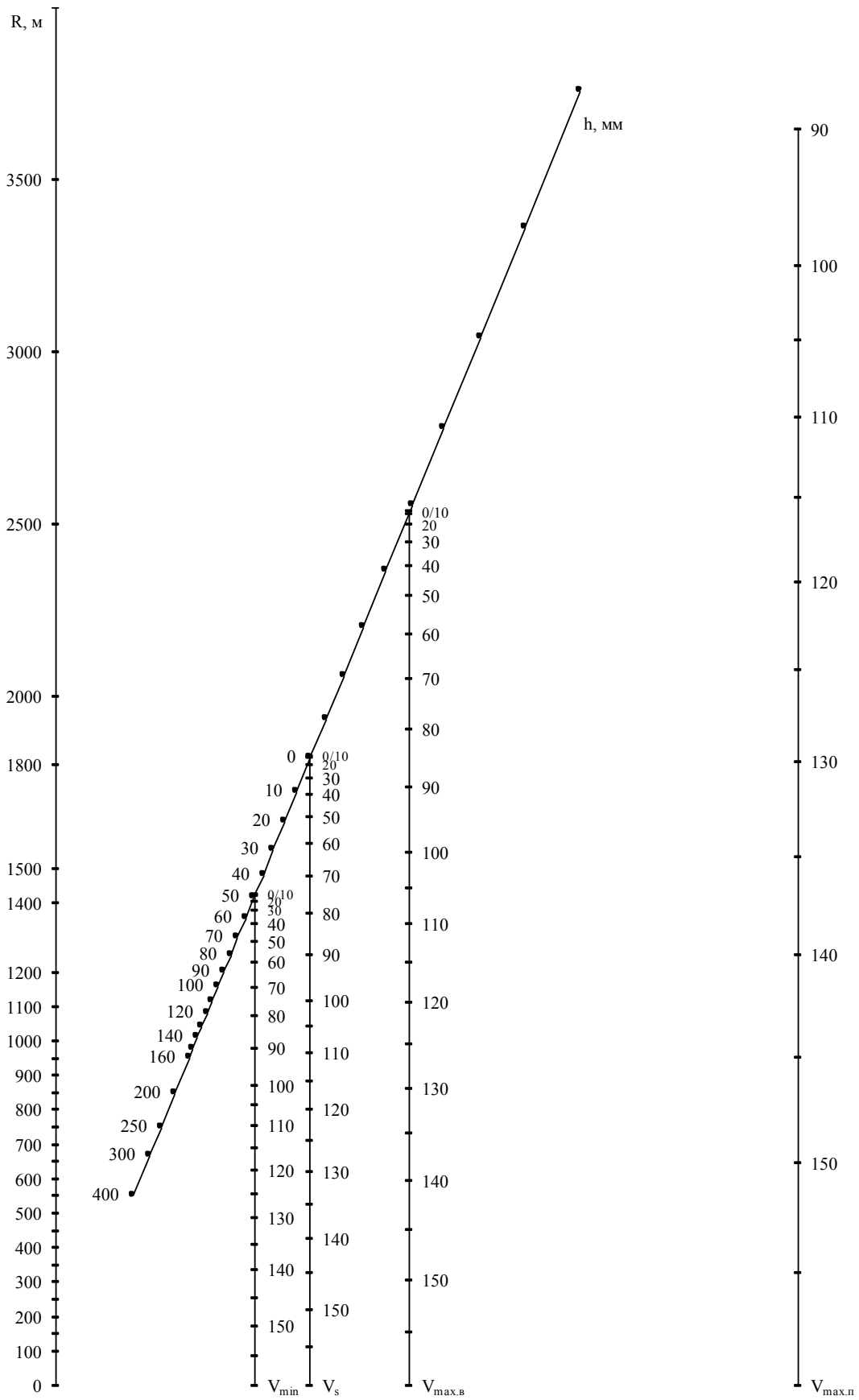


Рис. А.5. Узагальнена номограма для визначення оптимального радіуса, підвищення зовнішньої рейки та встановлення швидкостей руху поїздів

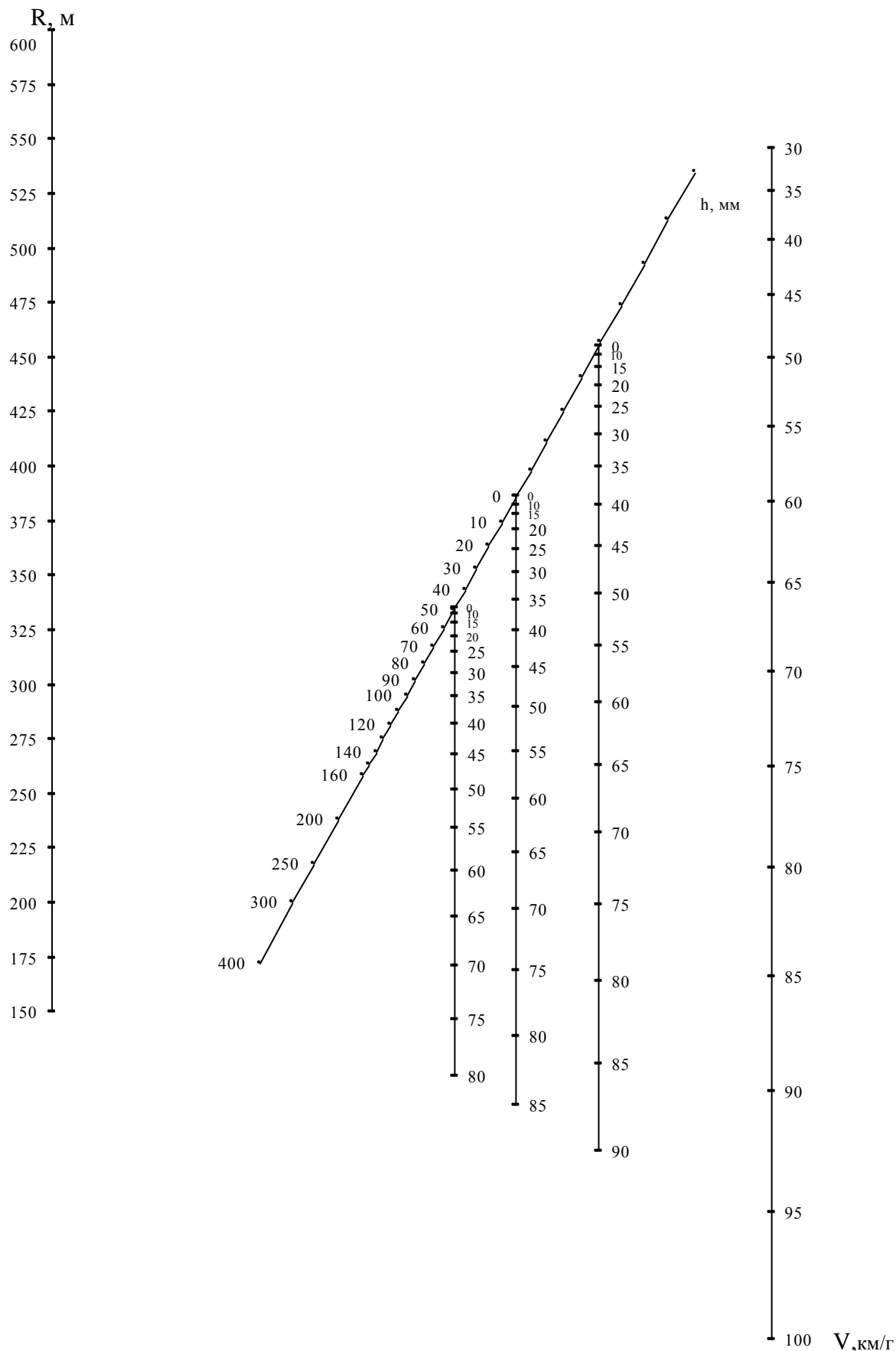


Рис. А.6. Узагальнена номограма для визначення оптимального радіуса, підвищення зовнішньої рейки та встановлення швидкостей руху поїздів для кривих малого радіуса

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1

Наближені значення коефіцієнтів для визначення середньозваженої і мінімальної швидкостей з використанням даних тягових розрахунків

Найменування частіш ділянки лінії і їх стисла характеристика	Коефіцієнти	
	k_1	k_2
Перегони з крутими затяжними спусками (перевальні ділянки):		
- при швидкостях руху не більше 60 км/год;	0,75...0,80	0,75
- при швидкостях руху від 60 до 100 км/год	0,80...0,85	0,65...0,80
Перегони з крутими затяжними підйомами	0,65...0,75	0,65...0,80
Перегони з різними по крутизні перемінними уклонами, рівнинні ділянки:		
- при швидкостях до 70 км/год;	0,70...0,80	0,65...0,85
- при швидкостях від 70 до 100 км/год (вантажний хід);	0,65...0,75	0,60...0,75
- при швидкостях до 100 км/год (пасажирський хід)	0,65...0,75	0,70...0,80
Проміжні станції, по яких основна частина поїздів прямує без зупинок, підходи до них	0,70...0,80	0,65...0,75
Станції, з встановленою по ним швидкістю 40 км/год, по яких більшість поїздів прямує без зупинки	0,70...0,75	0,45...0,50
Проміжні станції, на яких більша частина вантажних поїздів зупиняється або істотно знижує швидкість, підходи до них	0,50...0,65	0,40...0,60
Великі станції з підходами до них	0,40...0,60	0,40...0,60

Примітки:

1. Більші значення коефіцієнтів k_1 , k_2 відносяться до середньої частини перегонів.
2. Під ділянками підходу до станцій розуміються зони, де відбувається набір або зниження швидкості при прямованні через станцій із швидкостями, меншими ніж в основній частині перегонів.

Навчально-методичне видання

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ

Методичні рекомендації до виконання курсового проекту

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ НА ДІЛЯНЦІ ОБХОДУ

Редактор А. В. Безверхня
Комп'ютерна верстка В. В. Бердо

Підписано до друку Формат 60x84 ^{1/16}.
Папір друк. Друк плоский. Облік.-вид. арк. 3,0. Умов. друк. арк. 3,02

Український державний університет науки і технологій
49019, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2

Редакційно-видавничий відділ
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003