

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра колії та колійного господарства

ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсового та дипломного проектування

Харків – 2019

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри колії та колійного господарства 16 квітня 2018 р., протокол № 12.

У методичних вказівках висвітлені такі питання: особливості улаштування ходових частин рухомого складу та рейкової колії, норм і допусків її утримання; розрахунок ширини колії у прямих і кривих ділянках колії; визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих ділянках колії; параметрів перехідних кривих, кількості і порядку розкладання укорочених рейок у кривих ділянках колії.

Дані методичні вказівки призначені для використання у дипломному та курсовому проектуванні з дисципліни «Залізнична колія» студентами всіх форм навчання за спеціальністю «Залізничний транспорт» освітніх програм «Управління колійним комплексом залізниць, міського та промислового транспорту» і «Залізничні споруди та колійне господарство».

Укладачі:

проф. В. П. Шраменко,
доценти Д. А. Фаст,
О. О. Овчинніков

Рецензент

доц. А. М. Штомпель

ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсового та дипломного проектування

Відповідальний за випуск Фаст Д. А.

Редактор Третьякова К. А.

Підписано до друку 07.06.18 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,0. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Мета й завдання проектування.....	5
2 Вихідні дані для проектування.....	5
3 Особливості улаштування ходових частин рухомого складу, які впливають на параметри рейкової колії.....	6
4 Улаштування і норми утримання рейкової колії у прямих ділянках колії.....	11
5 Улаштування і розрахунки рейкової колії у кривих ділянках колії.....	11
5.1 Геометричний розрахунок ширини колії у кривій.....	12
5.1.1 Розрахунок ширини колії, необхідної для вільного вписування.....	14
5.1.2 Розрахунок ширини колії, необхідної для примусового вписування екіпажу в криву.....	15
5.2 Розрахунок необхідної величини підвищення зовнішньої рейкової нитки в кривій ділянці колії.....	18
5.3 Розрахунок параметрів перехідної кривої.....	22
6 Розрахунок кількості і порядку укладання вкорочених рейок у кривих ділянках колії.....	29
6.1 Методика розрахунку.....	29
6.2 Приклад розрахунку.....	30
6.3 Розрахунок порядку укладання вкорочених рейок у кривій на ПЕОМ.....	36
Список літератури.....	36
Додаток А.....	37
Додаток Б.....	40
Додаток В.....	41

ВСТУП

Для забезпечення безперервності та безпеки руху поїздів зі встановленими швидкостями залізнична колія повинна завжди знаходитись у справному стані. Цей стан досягається забезпеченням перш за все відповідності параметрів рейкової колії її нормативним і розрахунковим параметрам.

Разом з цим і з метою підвищення умов взаємодії колії та рухомого складу удосконалюються і самі норми улаштування й утримання рейкової колії.

Забезпечення постійної справності колії, особливо в умовах обмежених ресурсів, неможливо без глибоких знань спеціалістів колійного господарства питань проектування рейкової колії та норм її утримання.

Необхідно мати на увазі, що всі розділи роботи взаємопов'язані, і результати, які отримуються у попередніх розділах, є певною мірою вихідними даними для наступних розділів.

Крім того, припускається, що студенти для виконання розділу роботи за даними методичними вказівками мають детально ознайомитись із теоретичним і нормативним матеріалом, який викладено у відповідній навчальній [1-5] і технічній [6-8] літературі.

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ

Метою проектування рейкової колії є визначення параметрів, що характеризують її положення у плані та за рівнем при ув'язуванні з параметрами ходових частин рухомого складу.

У зв'язку з необхідністю посилення практичної підготовки студентів та їхньої самостійної роботи при вивченні курсу «Залізнична колія» проектуванням передбачається вирішення таких питань:

- вивчення особливостей улаштування ходових частин рухомого складу та рейкової колії, а також норм і допусків її утримання;
- визначення ширини колії у прямих і кривих ділянках колії;
- визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих ділянках колії;
- визначення параметрів перехідних кривих;
- визначення кількості та порядку розкладання вкорочених рейок у кривих ділянках колії.

2 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ

Дані для проектування рейкової колії об'єднані у дві групи. До першої групи входять характеристики поїздів та умови їхнього руху, до другої – параметри колії (додаток А, таблиця А.1).

Варіанти характеристик поїздів і параметрів кривої вказуються керівником у завданні на проектування.

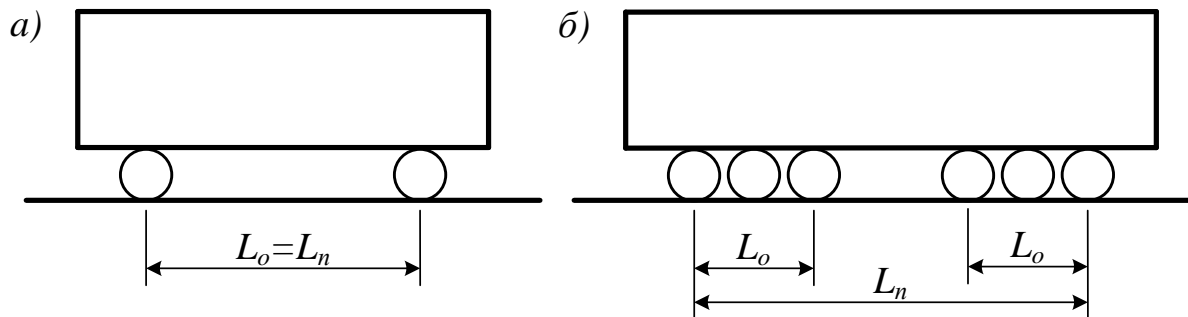
Додаткові дані та нормативні характеристики, в яких може виникнути необхідність у процесі проектування, приймаються студентом самостійно на підставі вивчення рекомендованої літератури.

Курсові роботи, які виконано не за заданим варіантом, до захисту не допускаються.

3 ОСОБЛИВОСТІ УЛАШТУВАННЯ ХОДОВИХ ЧАСТИН РУХОМОГО СКЛАДУ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПАРАМЕТРИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ

Конструктивні особливості рейкової колії та її розміри залежать від особливостей ходових частин рухомого складу: паралельності осей жорсткої бази екіпажу, глухого насадження коліс на осі, наявності гребенів у коліс, конічності поверхні катання коліс, поперечних розбігів осей та ін.

При русі залізничного екіпажу (локомотива, вагона) по рейковій колії частина осей, що закріплені в загальній рамі вагона або візка, залишаються завжди паралельними між собою. Відстань між крайніми осями при цьому прийнято називати жорсткою базою екіпажу L_o . На відміну від жорсткої бази, відстань між крайніми осями одиниці рухомого складу називається повною колісною базою (рисунок 1). На характер вписування екіпажу в кривій ділянці колії впливає саме довжина жорсткої бази – чим вона довша, тим складніше екіпаж вписується у криву, особливо малого радіуса.



а – 2-вісний екіпаж; б – 6-вісний екіпаж

Рисунок 1 – Типи жорстких баз залізничних екіпажів

Колеса залізничних екіпажів, наглухо насаджені на осі, мають із внутрішнього боку гребені, які утримують колісну пару на рейках і направляють рух екіпажу по рейковій колії.

Глухе насадження коліс на осі забезпечує незмінність відстані між колесами. Ця відстань називається шириною насадження T (рисунок 2). Для ненавантажених коліс ширина насадження повинна бути $T = 1440$ мм. Величина допусків

приймається залежно від належності коліс до відповідного рухомого складу та швидкостей його руху (таблиця 1).

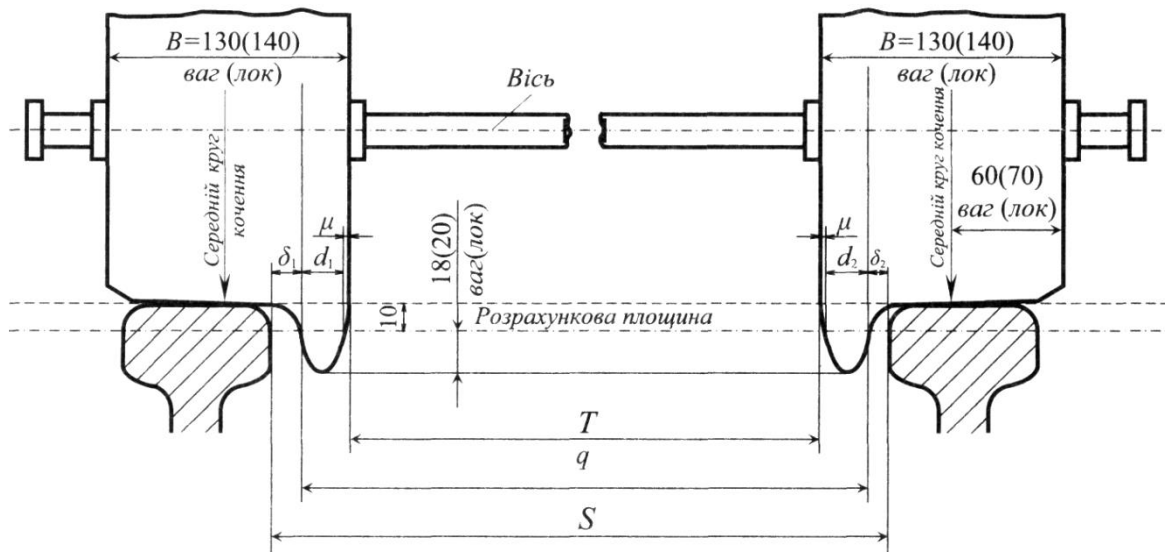


Рисунок 2 – Колісна пара та її основні параметри

Таблиця 1 – Величина допусків для коліс

Швидкість поїзда, км/год	Назва коліс	Ширина насадження колісної пари T , мм	Ширина гребенів коліс d , мм
До 120	Локомотивні Вагонні	1440 ±3 1440 ±3	25–33 25–33
121-140	Локомотивні Вагонні	1440 +3; -1 1440 +3; -1	28–33 28–33
141-160*	Локомотивні Вагонні	1440 +3; -1 1440 +3; -1	28–33 30–33
161-200	Локомотивні Вагонні	1440 +3; -1 1440 +3; -1	28**–33 30***–33

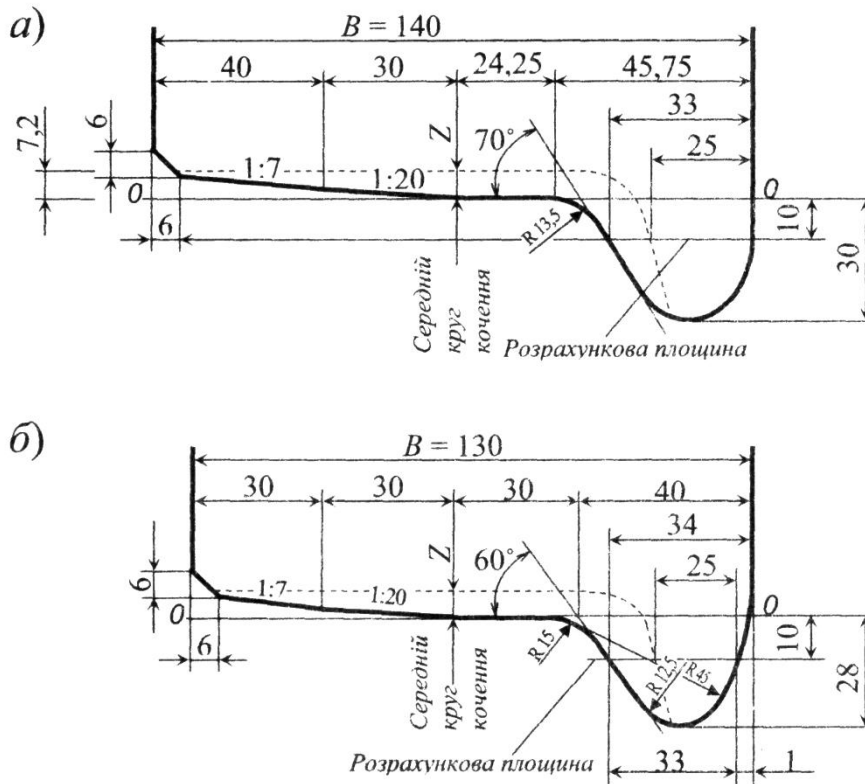
Примітки: * – для обслуговування швидкісних пасажирських поїздів назначаються спеціально надані і підготовлені локомотиви: для швидкостей руху до 160 км/год – електровози ЧС2, ЧС2^Т, ЧС4, ЧС4^Т, ЧС6, ЧС7, ЧС8, тепловози ТЕП60, 2ТЕП60, ТЕП70; для швидкостей руху до 200 км/год – ЧС200;

** – для електровоза ЧС200 товщина гребеня при швидкості руху 161-200 км/год повинна бути не менше 30 мм;

*** – для вагонів електровоза ЕР200 товщина гребеня повинна бути не менше 28 мм

Ширина гребенів коліс відповідно до роботи [1] при швидкостях руху до 120 км/год повинна бути в межах $d = 25\text{--}33$ мм, а при швидкостях більше 120 км/год – $d = 28\text{--}33$ мм (таблиця 1).

Колеса залізничних екіпажів мають конічну форму поверхні катання, яка на більшій її частині має ухил 1:20 і в кінці 1:7 протяжністю 24 і 34 мм відповідно у вагонних і локомотивних коліс (рисунк 3).



а – локомотивного колеса; б – вагонного колеса
Рисунок 3 – Профіль та основні розміри коліс

Така форма поверхні катання необхідна, по-перше, для забезпечення більш плавного і стійкого руху колісної пари; по-друге, для виключення сідлоподібного зношення поверхні катання. Крім того, конічна поверхня катання дозволяє колесу, що рухається по зовнішній рейковій нитці в кривій, при одній і тій самій кутовій швидкості обертання коліс пройти більший шлях, ніж колесу, що рухається по внутрішній нитці. Перехід конічності коліс від 1:20 до 1:7 забезпечує їхнє більш плавне перекатування з гостряка на рамну рейку, з осердя на вусовик і назад при русі по стрілочних переводах.

Поперечений розбіг осі η колісної пари (рисунок 4) – це один із пристроїв, що покращує проходження (полегшує вписування) екіпажу в кривих. Він утворюється за рахунок різниці довжини шийки осі $l_{ш}$ і ширини підшипника l_n : $\eta = l_{ш} - l_n$.

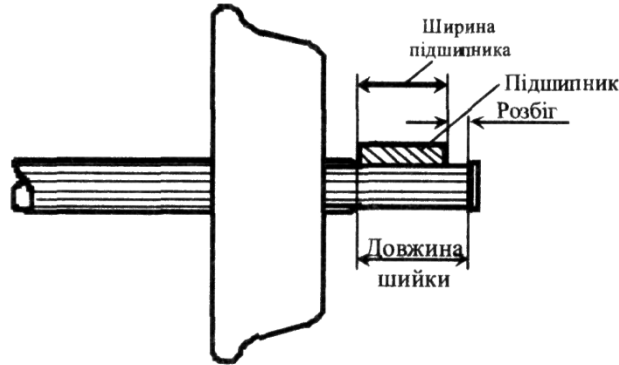


Рисунок 4 – Колісна пара з поперечним розбігом

Відсутність поперечних розбігів ускладнює вписування екіпажів у кривих ділянках колії (перш за все багатовісних) і викликає необхідність уширення рейкової колії.

Оскільки колія і рухомий склад являють собою єдину механічну систему, рейкова колія повинна мати параметри, що суворо відповідають параметрам ходових частин рухомого складу.

Рейкова колія характеризується шириною і положенням рейкових ниток за рівнем. Ширину колії вимірюють між робочими внутрішніми гранями головок рейок на рівні 13 мм нижче поверхні катання. Розміри рейкової колії, колісних пар, а також їхні відхилення встановлено з таким розрахунком, щоб забезпечити наявність необхідної для нормального руху колісної пари по рейковій колії суми зазорів δ_1 і δ_2 між гребенями коліс і внутрішніми гранями головок рейок (рисунок 2).

Внаслідок виляння колісна пара може зайняти будь-яке положення, змінюючи величину зазорів δ_1 і δ_2 . Однак сума цих зазорів $\delta_1 + \delta_2 = \delta$ буде постійною величиною для даної колісної пари і ширини колії.

На підставі викладеного вище та відповідно до рисунка 2 ширина колісної пари може бути визначена так:

$$q = T + 2d + 2\mu \pm \varepsilon_q, \quad (1)$$

де T – ширина насадження колісної пари;

d – товщина гребеня колеса;

μ – величина фаски (для вагонних коліс $\mu = 1$ мм, для локомотивних – $\mu = 0$);

ε_q – величина зміни ширини колісної пари за рахунок вигину осі під навантаженням (приймається для вагонних коліс $\varepsilon_q = -2$ мм, для коліс тепловозів та електровозів $\varepsilon_q = -1$ мм, для коліс паровозів $\varepsilon_q = +1$ мм).

Зазор між гребенями коліс і робочими гранями головок рейок визначається як

$$\delta = S - q + \varepsilon_s, \quad (2)$$

де S – ширина колії відповідно до ПТЕ [7];

ε_s – величина уширення колії за рахунок пружного віджимання рейок ($\varepsilon_s = 2$ мм).

Оскільки існують мінімальні, нормальні і максимальні значення S , T і d , то відповідно існують і зазори δ_{min} , δ_o і δ_{max} (таблиця 2).

Таблиця 2 – Величини зазорів δ

Швидкість руху, км/год	Колісні пари	$\delta_{min} = S_{min} - q_{max}$, мм	$\delta_o = S_o - q_o$, мм	$\delta_{max} = S_{max} - q_{min}$, мм
Від 0 до 120	Локомотивні	7	14	39
	Вагонні	5	12	37
Від 121 до 140	Локомотивні	7	14	31
	Вагонні	5	12	29

4 УЛАШТУВАННЯ І НОРМИ УТРИМАННЯ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ У ПРЯМИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ

Шириною рейкової колії називається відстань між внутрішніми гранями головок рейок, яка вимірюється нижче поверхні катання на 13 мм. Відповідно до ПТЕ ширина рейкової колії для прямих ділянок колії і кривих радіусом 350 м і більше встановлена рівною 1520 мм із допусками +8 і –4 мм, а на ділянках, де швидкості руху поїздів 50 км/год і менше, складає +10 і –4 мм.

У прямих ділянках колії рейкові нитки мають бути в одному рівні. Разом з цим ПТЕ дозволено піднімання однієї рейкової нитки відносно іншої на 6 мм для покращення плавності руху поїздів і зменшення виляння екіпажів, бо вони проходять у цьому випадку колію з колесами, притиснутими до пониженої рейкової нитки.

Відводи пониженої рейкової нитки у межах допусків повинні бути не крутіше 1 мм на 1 м колії (0,001) на ділянках, де швидкості руху поїздів не перевищують 120 км/год, і не крутіше 1 мм на 1,5 м колії (0,00067) при швидкості 121-160 км/год.

Як вже зазначалося, нові колеса мають поверхню катання з конічністю 1:20. Для кращого спирання колеса на головку рейки також встановлюють із нахилом 1:20 до осі колії. Нахил рейок у прямих і зовнішньої нитки в кривих ділянках колії повинен бути не менше 1:60 і не більше 1:12, а внутрішньої нитки в кривих при підвищенні зовнішньої рейки більше 85 мм – не менше 1:30 і не більше 1:12.

5 УЛАШТУВАННЯ І РОЗРАХУНКИ РЕЙКОВОЇ КОЛІЇ У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ

Рейкова колія у кривих ділянках колії відрізняється від її улаштування у прямих рядом особливостей:

– наявністю підвищення зовнішньої рейкової нитки над внутрішньою, необхідного для зниження бічного впливу гребенів коліс на рейки, забезпечення однакового вертикального впливу

на обидві рейкові нитки, покращення умов комфортабельності їзди для пасажирів;

- наявністю уширення колії у кривих радіусом менше 350 м;

- улаштуванням перехідних кривих для забезпечення плавного переходу рухомого складу з прямої ділянки колії на криву в місцях їхнього сполучення, починаючи з радіуса кривих 3000 м і менше;

- укладанням укорочених рейок у внутрішню нитку кривої для забезпечення розташування стиків один навпроти одного («по наугольнику»);

- збільшенням міжколійних відстаней для забезпечення габаритних відстаней у кривих ділянках колії на двоколійних і багатоколійних лініях.

5.1 Геометричний розрахунок ширини колії у кривій

Ширина рейкової колії має бути такою, щоб виключалося заклинювання колісних пар рухомого складу або їхнє провалення. Крім того, розміри ширини колії повинні забезпечувати найменший опір руху поїзду, а також найменше зношення рейок і бандажів коліс. Всі ці вимоги і визначають вибір оптимальної ширини колії.

Положення колісних пар екіпажу, яке встановилося при русі по кривій, відносно робочих граней рейкових ниток у результаті взаємодії між ними й ходовими частинами рухомого складу прийнято називати вписуванням екіпажу в криві. При вписуванні можливі два варіанти положення екіпажу в колії – вільне і заклинене.

Вільне вписування має місце, коли ширина колії достатня для того, щоб екіпаж, що рухається з рівномірною швидкістю, направлявся по кривій тільки переднім зовнішнім колесом (рисунок 5), а полюс повороту C при цьому знаходиться на перетині задньої осі жорсткої бази та поздовжньої осі екіпажу.

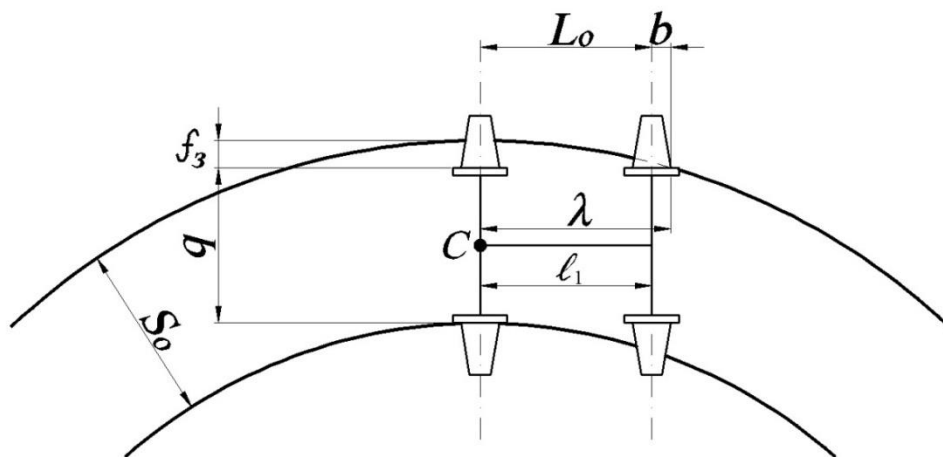


Рисунок 5 – Схема вільного вписування двовісного (багатовісного) екіпажу в криву

Заклиненим називають таке вписування, при якому колеса кожної пари двовісної жорсткої бази (візка) впираються гребенями в обидві рейкові нитки. При трьох і більше оснях екіпажах у рейкові нитки впираються гребені зовнішніх коліс крайніх осей і внутрішніх коліс середніх осей. Полюс повороту C при цьому знаходиться на перетині поздовжньої та поперечної осей симетрії екіпажу, а зазори між гребенями коліс і бічними робочими гранями рейкових ниток відсутні (рисунок 6).

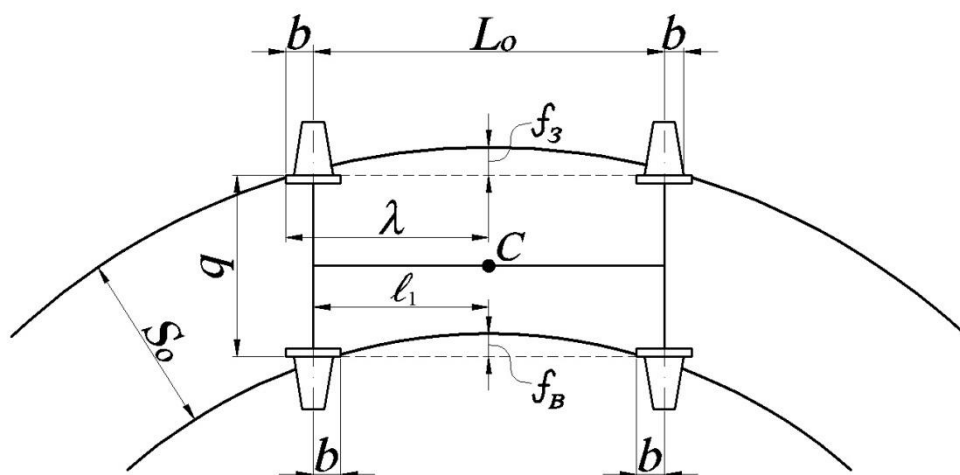


Рисунок 6 – Схема примусового вписування двовісного екіпажу в криву

Геометричний розрахунок необхідної ширини колії у кривій зводиться до перевірки можливості вільного вписування різних

екіпажів у криву. Якщо отримана при цьому ширина колії виявляється більше за встановлену ПТЕ, то перевіряють можливість так званого примусового вписування, коли ширина колії приймається більшою, ніж ширина колії для заклиненого вписування на величину мінімального зазору, бо заклинене вписування у реальних умовах неприпустиме.

5.1.1 Розрахунок ширини колії, необхідної для вільного вписування

Необхідна для вільного вписування ширина колії для жорстких баз із будь-якою кількістю осей визначається за формулою

$$S_e = S_o + f_3 - \delta_{min} - \eta_1, \quad (3)$$

де S_o – ширина колії, встановлена ПТЕ для прямих ділянок колії (див. п. 4);

f_3 – стріла вигину зовнішньої рейкової нитки (рисунок 5);

δ_{min} – мінімальний зазор між робочими гранями гребенів коліс і рейок (таблиця 2);

η_1 – поперечний розбіг першої по ходу руху колісної пари (додаток Б, таблиця Б.1).

Стрілу вигину по зовнішній рейковій нитці при півхорді λ знаходимо так:

$$f_3 = \frac{\lambda^2}{2R} = \frac{(L_o + b)^2}{2R}, \quad (4)$$

де L_o – довжина жорсткої бази для екіпажу, що розглядається; (додаток Б, таблиця Б.1);

R – радіус кривої, що розглядається;

b – величина забігу точки дотику гребнем колеса робочої грані рейки відносно осі колісної пари.

Величина забігу з достатньою для практичних розрахунків точністю може бути розрахована за формулою

$$b \approx \frac{l_1 \cdot r \cdot \operatorname{tg} \tau}{R}, \quad (5)$$

де l_1 – відстань від полюса повороту жорсткої бази до її передньої осі, яка дорівнює при вільному вписуванні $l_1 = L_o$ (рисунок 5);

r – радіус колеса екіпажу (додаток Б, таблиця Б.1);

τ – кут нахилу робочої грані гребеня колеса (рисунок 3), для вагонних коліс приймається $\tau = 60^\circ$, для локомотивних коліс – $\tau = 70^\circ$.

Отримана за формулою (3) ширина колії для забезпечення вільного вписування порівнюється з шириною колії, яка встановлена відповідно до Інструкції з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) [6] та ПТЕ [7] для кривих ділянок колії (таблиця 3).

Якщо виявиться, що необхідна для вільного вписування ширина колії більше за встановлену ПТЕ для кривої, яка розглядається, то це означає, що вільного вписування у цю криву відбуватися не буде. У цьому випадку перевіряється можливість примусового вписування.

Таблиця 3 – Величина ширини колії залежно від радіуса кривої

Радіус кривої, м	Ширина колії у кривій при нормі ширини колії у прямій, мм	
	1520	1524
350 і більше	1520	1524
300–349	1530	1530
299 і менше	1535	1540
Примітки: 1 Допуски залишаються ті ж самі, що і в прямій, тобто +8 і –4 мм. 2 Для колії із залізобетонними шпалами ширина колії не змінюється		

5.1.2 Розрахунок ширини колії, необхідної для примусового вписування екіпажу в криву

Необхідна для примусового вписування ширина колії визначається за формулами, які використовуються окремо для двовісних і тривісних екіпажів. Більше того, враховується і та обставина, що примусове вписування може відбуватися як з

урахуванням, так і без урахування пристроїв, які полегшують вписування (наприклад, з урахуванням поперечних розбігів).

А. Ширина колії, яка необхідна для примусового вписування розрахункового екіпажу з двовісною жорсткою базою, визначається за формулою

$$S_{np} = S_{зак} + \delta_{min} = S_o + f_3 - f_в, \quad (6)$$

де f_3 – стріла вигину зовнішньої рейкової нитки для даного випадку

$$f_3 = \frac{(L_o + 2b)^2}{8R}; \quad (7)$$

$f_в$ – стріла вигину внутрішньої рейкової нитки, для даного випадку

$$f_в = \frac{(L_o - 2b)^2}{8R}. \quad (8)$$

Величина забігу b визначається як і при вільному вписуванні за формулою (5) з тією різницею, що відстань від полюса повороту до передньої осі l_1 при примусовому вписуванні приймається рівною $l_1 = L_o/2$ (рисунок 6).

Б. Ширина колії, яка необхідна для примусового вписування розрахункового екіпажу з тривісною жорсткою базою без наявності полегшувальних пристроїв, розраховується як (рисунок 7)

$$S_{np} = q_{max} + f_3 = S_o + f_3. \quad (9)$$

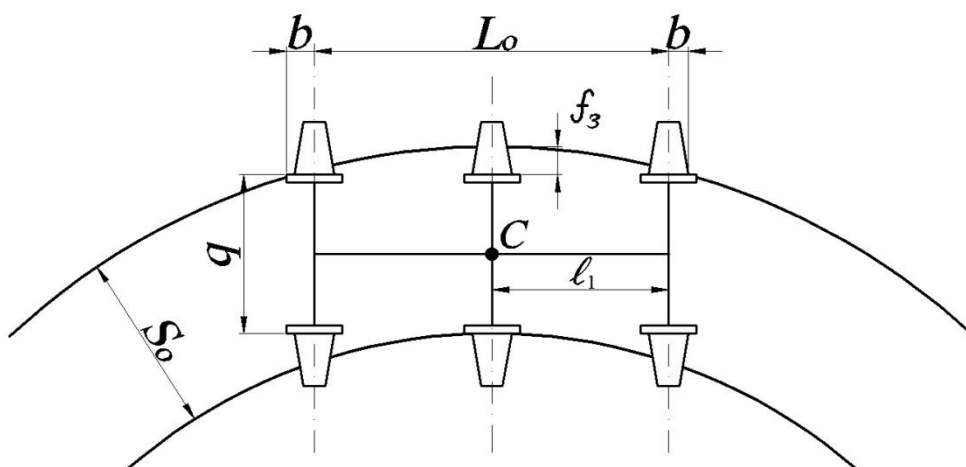


Рисунок 7 – Схема примусового вписування тривісного екіпажу в криву без полегшувальних пристроїв

В. Якщо осі розрахункового екіпажу з тривісною жорсткою базою мають поперечні розбіги (рисунок 8), а їх сума більше або дорівнює стрілі вигину зовнішньої рейкової нитки, тобто $\sum \eta \geq f_3$, то ширина колії для забезпечення примусового вписування визначається як

$$S_{np} = S_o + f_3 - f_6. \quad (10)$$

При цьому $\sum \eta = \eta_1 + \eta_2$, а f_3 і f_6 знаходяться за формулами (7) та (8).

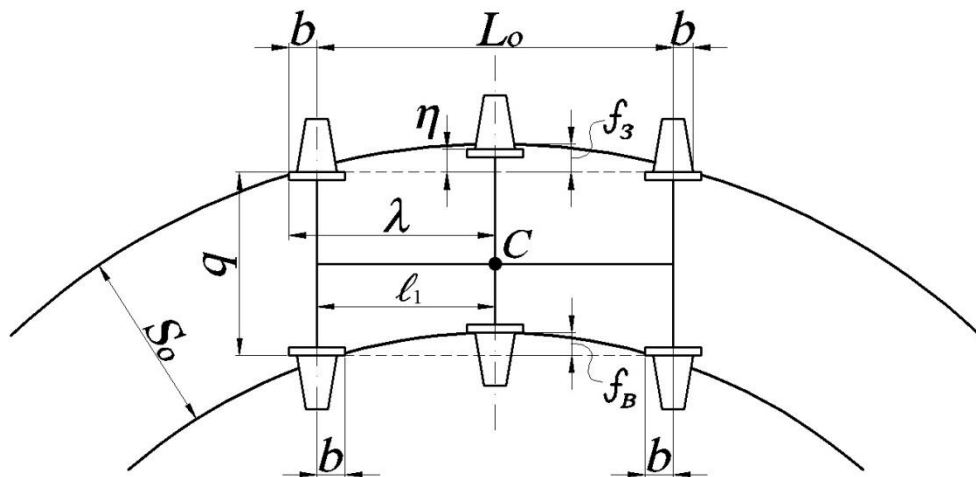


Рисунок 8 – Схема примусового вписування тривісного екіпажу в криву при наявності поперечних розбігів

Якщо сума поперечних розбігів колісних пар розрахункового екіпажу менше стріли вигину зовнішньої рейкової нитки, тобто $\sum \eta < f_3$, тоді

$$S_{np} = S_o + f_3 - \sum \eta. \quad (11)$$

В усіх випадках визначена мінімально допустима ширина рейкової колії не повинна перевищувати максимальної ширини колії, яка встановлена ПТЕ (таблиця 3).

Якщо ширина колії, яка визначається розрахунком, буде більше максимальної ширини згідно із ПТЕ, то це означає, що дана крива без спеціальних пристроїв у вигляді контррейок не може забезпечити проходження даного екіпажу.

Якщо розрахункова ширина колії буде менше нормальної $S_o = 1520$ мм, то це означає, що конструктивні розміри й особливості ходових частин екіпажу дозволяють йому проходити

криву даного радіуса без розширення колії. У такому випадку ширина колії повинна прийматися рівною 1520 мм.

Якщо розрахункова ширина колії у заданій кривій буде менше, ніж ширина колії, яка встановлена ПТЕ для цього радіуса, то остаточне її значення приймається згідно із ПТЕ.

5.2 Розрахунок необхідної величини підвищення зовнішньої рейкової нитки в кривій ділянці колії

При русі залізничного екіпажу по кривій виникає відцентрова сила (рисунок 9), яка визначається за формулою

$$J = \frac{G \cdot V^2}{3,6^2 \cdot g \cdot R}, \quad (12)$$

де G – вага екіпажу, тс;

V – швидкість руху, км/год;

R – радіус кривої, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

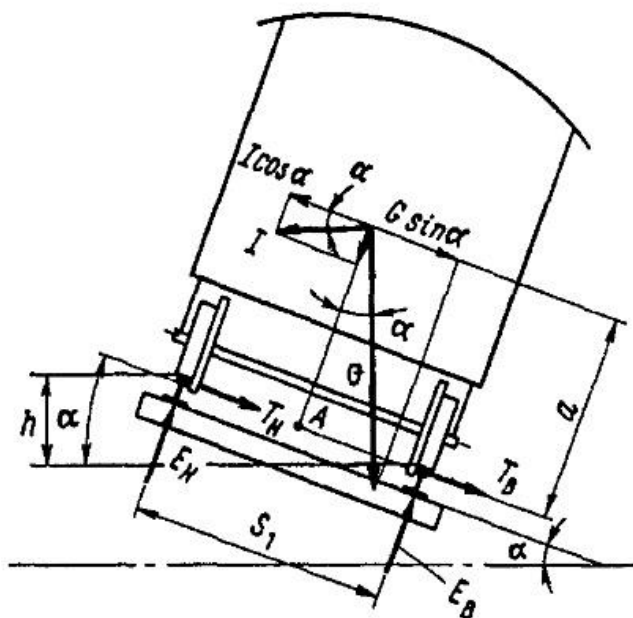


Рисунок 9 – Положення екіпажу в кривій з підвищенням зовнішньої рейки

Як інерційна відцентрова сила викликає зміщення екіпажу в бік зовнішньої рейкової нитки кривої, а також крен кузова

екіпажу на ресорах, що призводить до зміщення його центра ваги, а це у свою чергу разом із перекидним моментом викликає небажане перевантаження зовнішньої рейкової нитки.

Для зменшення відцентрової сили та пов'язаних з нею несприятливих наслідків у кривих ділянках колії, починаючи з радіуса 4000 м і менше, влаштовують підвищення зовнішньої рейкової нитки над внутрішньою. При такому розташуванні рейкових ниток дія відцентрової сили зменшується на величину горизонтальної складової ваги екіпажу, яка визначається за формулою

$$T = G \frac{h_p}{S_1}, \quad (13)$$

де h_p – підвищення зовнішньої рейкової нитки;

S_1 – відстань між осями рейкових ниток ($S_1 = 1600$ мм при $S_0 = 1520$ мм).

Правильно встановлене підвищення зовнішньої рейкової нитки дозволяє:

– забезпечити приблизно однаковий рівень вертикальних сил від коліс на обидві рейкові нитки;

– знизити рівень бічних сил і тим самим забезпечити міцність і стійкість колії;

– забезпечити з умови комфортабельності їзди пасажирів мінімальний рівень непогашених прискорень $\alpha_{нп}$.

За роботами [1-3], величину розрахункового підвищення визначають виходячи з умови однакового впливу на обидві рейкові нитки, тобто

$$h_p = 12,5 \frac{V_{сер}^2}{R} + \Delta h_{зм}, \quad (14)$$

де 12,5 – коефіцієнт, отриманий після підстановки постійних величин у загальний вираз для визначення підвищення і який дозволяє, підставляючи швидкість у кілометрах на годину, а радіус у метрах, одержати підвищення у міліметрах;

$V_{сер}$ – середньоквадратична швидкість, зважена за тоннажем, км/год.

Значення $V_{сер}$ знаходимо за формулою

$$V_{сер} = \sqrt{\frac{\sum Q_i n_i V_i^2}{\sum Q_i n_i}}, \quad (15)$$

де Q_i – вага поїздів різних категорій, що проходять по кривій протягом доби (вантажних, пасажирських, швидких і приміських), т;

n_i – кількість поїздів кожної категорії, що проходять по кривій протягом доби, шт.;

V_i – швидкість руху поїздів відповідної категорії, км/год.

У формулі (14) Δh являє собою добавку, що враховує вплив ексцентриситетів розташування екіпажу в колії, надресорної та ненадресорної будов екіпажу.

Величину цієї добавки орієнтовно приймають:

- для вантажного руху $\Delta h_{вант} = 4$ мм;
- для пасажирського руху $\Delta h_{пас} = 21$ мм;
- для змішаного руху

$$\Delta h_{зм} = \frac{\Delta h_{вант} \sum (Q_i n_i)_{вант} + \Delta h_{пас} \sum (Q_i n_i)_{пас}}{\sum (Q_i n_i)_{вант} + \sum (Q_i n_i)_{пас}}. \quad (16)$$

Слід відмітити і те, що при необхідності добавка може включати і ряд інших поправок [4], а саме поправки на вплив сили тяги, вітру та ін.

З умови забезпечення комфортабельності їзди величина підвищення h_{min} розраховується за формулою

$$h_{min} = 12,5 \frac{V_{max}^2}{R} - 163 \alpha_n, \quad (17)$$

де V_{max} – найбільша встановлена на ділянці швидкість пасажирських або швидких поїздів, км/год;

α_n – непогашене відцентрове прискорення (допустима величина складає 0,7 м/с²).

При реконструкції ліній або проектуванні нових, де передбачається швидкісний рух, підвищення зовнішньої рейки в кривих визначається за формулою

$$h_p = 12,5 \frac{V_{\text{сер}}^2}{R} K, \quad (18)$$

де K – коефіцієнт, що враховує зміщення центра ваги екіпажу у зовнішній бік щодо осі колії: при $V_{\text{max}} \leq 140$ км/год $K = 1,0$; при $V_{\text{max}} > 140$ км/год $K = 1,2$.

Таким чином при швидкостях руху поїздів більше 140 км/год вираз (18) для визначення підвищення зовнішньої рейки в кривій ділянці буде мати вигляд

$$h_p = 15 \frac{V_{\text{сер}}^2}{R}. \quad (19)$$

З отриманих за формулами (14), (17), (18) і (19) значень підвищення приймається найбільше з округленням у більший бік до величини, кратної 5 мм.

Максимальна допустима величина підвищення на вітчизняних залізницях прийнята $[h] = 150$ мм. Якщо з розрахунку виявилось, що $h_p > [h] = 150$ мм, то за розрахункову величину приймають $h_p = 150$ мм і визначають допустиму швидкість руху за формулою (17), яка після перетворень набуде вигляду

$$V_{\text{max}} = 4,6\sqrt{R}. \quad (20)$$

Отримане таким чином обмеження за швидкістю призначається до моменту проведення реконструктивних заходів щодо уположення кривої. Величина радіуса при цьому встановлюється відповідно до виразу

$$R = 47,26 \cdot 10^{-3} V_{\text{max}}^2. \quad (21)$$

У кривих на головних та приймально-відправних коліях станцій підвищення зовнішньої рейки влаштовують залежно від встановлених на цих коліях швидкостей з урахуванням «Указання по применению габаритов приближения строений» [9].

На приймально-відправних коліях, на яких швидкість руху не перевищує 25 км/год, підвищення зовнішньої рейки в кривих,

як правило, не влаштовують. Без підвищення зовнішньої нитки влаштовують і перевідні криві стрілочних переводів.

Нормою утримання колії за рівнем у кривих є розрахункова величина підвищення зовнішньої нитки із забезпеченням відповідного відводу. Відхилення від встановлених норм утримання рейкових ниток у кривих за рівнем допускається, як і на прямих, не більше 6 мм.

5.3 Розрахунок параметрів перехідної кривої

Прямі та кругові криві, починаючи з радіуса 3000 м і менше, для уникнення раптової появи відцентрової сили повинні плавно сполучатися за допомогою перехідних кривих. Основне призначення перехідних кривих полягає у забезпеченні плавної зміни відцентрових сил при входженні екіпажу в кругову криву і виході з неї. На їхній протяжності здійснюються плавні відводи підвищення зовнішньої рейкової нитки і при необхідності розширення колії у круговій кривій. Іншими словами, в межах перехідних кривих плавно змінюються кривизна колії (радіус кривизни ρ_x змінюється від ∞ у прямій до величини R у круговій кривій), різниця рівней рейкових ниток (від 0 у прямій до h_p у круговій кривій), ширина колії у кривих з радіусом менше 350 м (від $S_o = 1520$ мм у прямій до $S_o = 1530$ мм або $S_o = 1535$ мм у круговій кривій), а також непогашене прискорення, а отже, і непогашена відцентрова сила (рисунки 10).

За перехідні криві приймають радіоїдальні спіралі або кубічні параболи. В цих кривих кривизна K_x змінюється плавно, збільшуючись пропорційно їхній довжині

$$l_x = CK_x = C \frac{1}{\rho_x}, \quad (22)$$

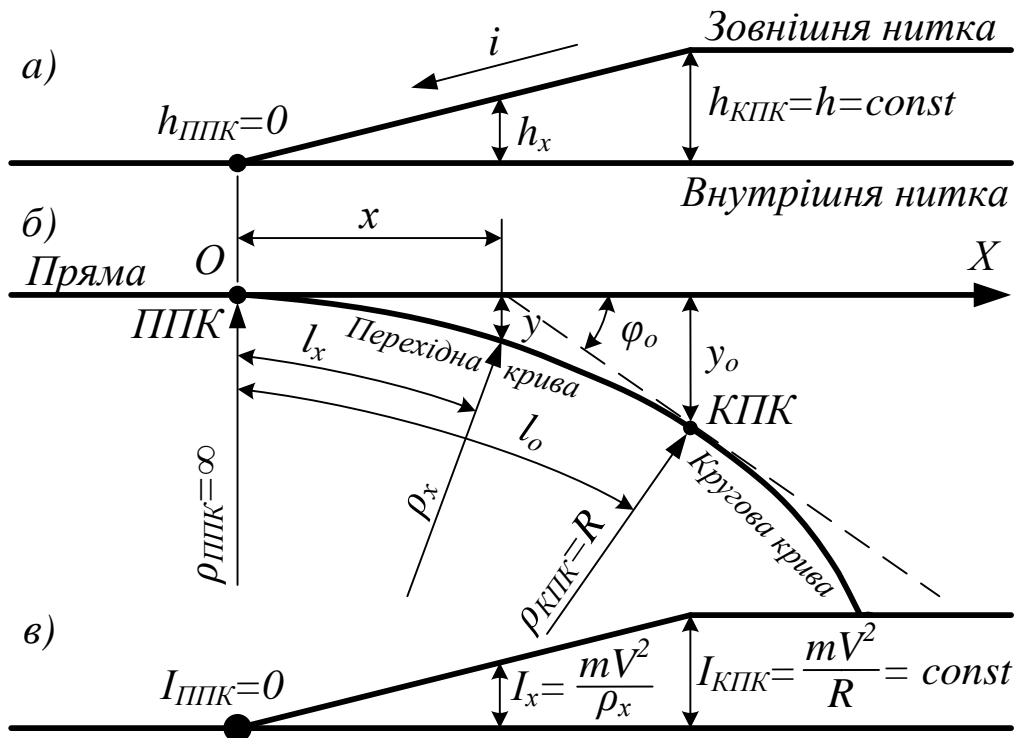
де C – коефіцієнт пропорційності, який називається параметром перехідної кривої.

Враховуючи, що для кінця перехідної кривої $l_x = l_o$ і $\rho_x = R$, параметр перехідної кривої знаходимо за формулою

$$C = R \cdot l_o. \quad (23)$$

Довжина перехідної кривої визначається виходячи з трьох умов. При прямолінійному відводі підвищення зовнішньої рейкової нитки h_p довжина перехідної кривої розраховується тпк:

$$l_o = \frac{h_p}{i}. \quad (24)$$



- а – схема зміни підвищення зовнішньої рейкової нитки;
 б – план ділянки колії з перехідною кривою;
 в – зміна непогашеної відцентрової сили в кривій
- Рисунок 10 – Схема перехідної кривої

Потім цю довжину перевіряють за умови обмеження швидкості піднімання колеса на підвищення

$$l_o^{min} = 10h_p V_{max} \quad (25)$$

та за умови обмеження зміни непогашеного відцентрового прискорення

$$l_o^{min} = \frac{V_{max}^3}{\psi R}, \quad (26)$$

де ψ – допустима величина зміни непогашеного прискорення, яка приймається у межах 0,6–0,8 м/с³.

Ухил відводу підвищення i визначається за умов забезпечення безпеки руху екіпажів і плавності збільшення відцентрових прискорень [4].

Норми ухилу відводу підвищення на вітчизняних залізницях прийняті виходячи з максимальних швидкостей руху поїздів, встановлених на даній ділянці (таблиця 4).

Таблиця 4 – Норми ухилу відводу підвищення залежно від швидкостей руху поїздів

Швидкість руху поїздів, км/год	Ухил відводу підвищення
120 і менше	0,001 (1 мм на 1 м колії)
від 121 до 140	0,00067 (1 мм на 1,5 м колії)
від 141 до 200	0,0005 (1 мм на 2 м колії)
Примітка – у складних умовах допускається ухил відводу 0,002	

Із трьох значень довжини перехідної кривої, які розраховуються за формулами (24-26), необхідно прийняти найбільше з округленням у більший бік до відповідної величини, що дорівнює $l_o = 20, 30, 40 \dots 200$ м. Однак за всіх умов довжина перехідної кривої повинна бути:

$$l_o \geq 30 \text{ м при } 3000 \text{ м} \geq R \geq 1500 \text{ м};$$

$$l_o \geq 40 \text{ м при } 1500 \text{ м} > R \geq 1000 \text{ м};$$

$$l_o \geq 50 \text{ м при } 1000 \text{ м} > R > 700 \text{ м};$$

$$l_o \geq 60 \text{ м при } R \leq 700 \text{ м}.$$

Розбиття перехідних кривих на місцевості виконують одним з таких способів:

- зсуванням кругової кривої усередину;
- введенням додаткових кругових кривих;
- зміщенням центра і зміною радіуса кругової кривої.

Найчастіше всього розбиття перехідних кривих виконують за першим із названих вище способів (рисунок 11).

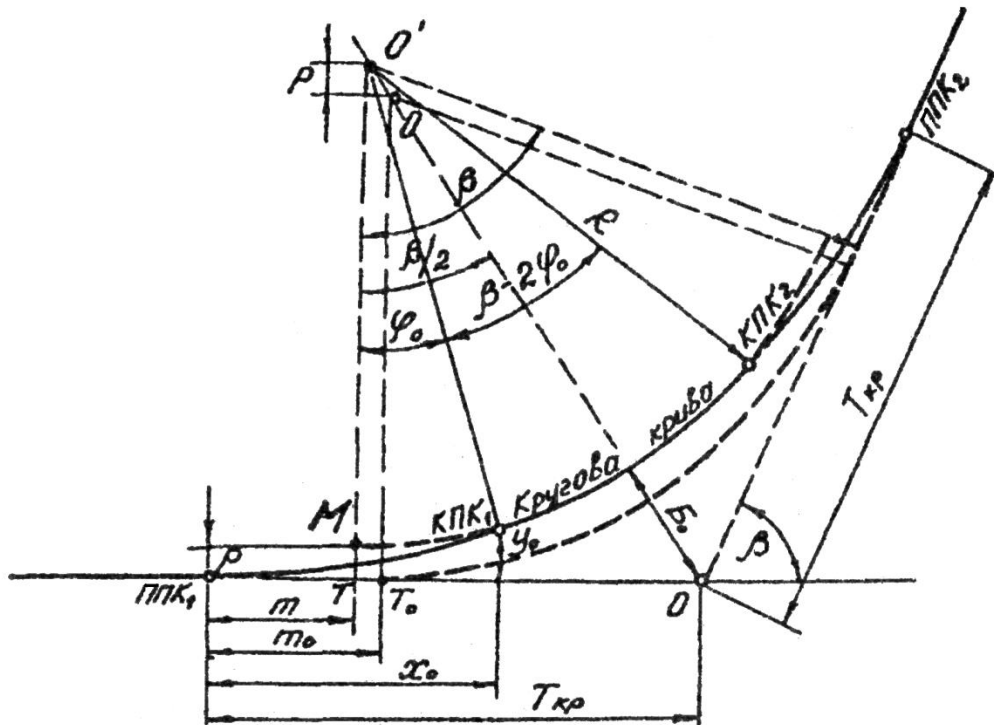


Рисунок 11 – Схема розбиття перехідних кривих способом зсування кругової кривої всередину

Для цього спочатку визначають кут нахилу перехідної кривої у її кінці φ_0

$$\varphi_0 = \frac{l_0}{2R}. \quad (27)$$

Можливість розбиття двох перехідних кривих забезпечується виконанням умови, коли

$$2\varphi_0 + \frac{l_{\text{КК}}^{\text{min}}}{R} \leq \beta, \quad (28)$$

де β – кут повороту кривої;

$l_{\text{КК}}^{\text{min}}$ – мінімальна довжина кругової кривої, яка залишається між двома перехідними після їх улаштування.

Мінімальна довжина кругової кривої дозволить розміститися у її межах повній колісній базі розрахункового екіпажу. Якщо немає спеціальних вимог, то $l_{\text{КК}}^{\text{min}}$ приймається рівною 30 м; у складних умовах при відповідному обґрунтуванні може бути прийнята рівною 15 м або навіть дорівнювати 0.

Фактична довжина кругової кривої визначається за формулою

$$l_{\text{кк}} = R(\beta - 2\varphi_0). \quad (29)$$

Перш ніж розпочати визначення параметрів для розбиття перехідної кривої, необхідно встановити її вид.

Кубічну параболу приймаємо за умови, якщо

$$R \geq 1,602 C^{5/9}. \quad (30)$$

Координати такої кривої розраховують так:

$$y_i = \frac{x_i^3}{6C}. \quad (31)$$

Підрахунок ординат y_i ведеться у табличній формі для відповідних абсцис x_i , які задаються з інтервалом 10 м (таблиця 5).

Таблиця 5 – Підрахунок координат y_i для кривої, яка має вигляд кубічної параболу

$x_i, \text{ м}$	10	20	30	...	x_0
$y_i = \frac{x_i^3}{6C}, \text{ м}$					y_0

Тут x_0 – кінцева абсциса, y_0 – кінцева ордината перехідної кривої ($x_0 = l_0$).

Якщо умова (30) не виконується, то за перехідну криву приймається радіоїдальна спіраль, а її координати визначаються за рівняннями

$$\left. \begin{aligned} x_i &= l_i \left(1 - \frac{l_i^4}{40C^2} \right); \\ y_i &= \frac{l_i^3}{6C} \left(1 - \frac{l_i^4}{56C^2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

Розрахунок також ведеться у табличній формі (таблиця 6).

Таблиця 6 – Підрахунок координат x_i та y_i для кривої, яка має вигляд радіоїдальної спіралі

l_i , М	10	20	30	...	l_o
x_i , М					x_o
y_i , М					y_o

Відстань m_o від тангенсного стовпчика T_o (рисунок 11) старої кругової кривої до початку перехідної кривої знаходимо за формулою

$$m_o = m + p \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}, \quad (33)$$

де m – відстань від початку перехідної кривої до нового положення тангенсного стовпчика T_o , яке приймається рівним для кубічної параболи

$$m \approx \frac{l_o}{2}, \quad (34)$$

а для радіоїдальної спіралі

$$m = x_o - R \cdot \sin \varphi_o; \quad (35)$$

p – величина зсування кругової кривої, яка дорівнює для кубічної параболи

$$p = \frac{l_o}{24R}, \quad (36)$$

а для радіоїдальної спіралі

$$p = y_o - R(1 - \cos \varphi_o) \text{ або } p = y_o - 2R \sin^2 \frac{\varphi_o}{2}. \quad (37)$$

При розбитті кругової кривої з використанням готових таблиць (таблиці 5, 6) для розбиття залізничних кривих координати відносно початку перехідної кривої при $x > R \cdot \sin \varphi_o$ визначаються такими рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} x_k &= m + x_{\text{таб}}; \\ y_k &= p + y_{\text{таб}}, \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

де $x_{таб}$ та $y_{таб}$ – координати кругової кривої відносно точки M , які беруться з таблиць 5, 6.

Розрахунок кривої закінчується визначенням її сумованих параметрів:

- повна довжина кривої

$$L_{кр} = 2l_o + R(\beta - 2\varphi_o) ; \quad (39)$$

- сумований тангенс кривої

$$T_{кр} = m + (R + p)tg \frac{\beta}{2} ; \quad (40)$$

- сумована бісектриса

$$B_o = \frac{R+p}{\cos \frac{\beta}{2}} - R ; \quad (41)$$

- домер кривої

$$D = 2T_{кр} - L_{кр} . \quad (42)$$

За результатами розрахунків викреслюється схема розбиття перехідної кривої з указанням координат і розбивних параметрів.

Розглянутий спосіб розбиття перехідних кривих на лініях, що експлуатуються, звичайно застосовується у випадках, коли величина зсування кругової кривої незначна (до 25 м), невелика довжина кривої і ширина основної площадки земляного полотна достатні для досягнення зсування, яке отримано за розрахунком.

6 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ І ПОРЯДКУ УКЛАДАННЯ ВКОРОЧЕНИХ РЕЙОК У КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ

6.1 Методика розрахунку

У кривих ділянках колії зовнішня і внутрішня рейкові нитки мають неоднакову довжину. Оскільки внутрішня нитка описана меншим радіусом, то вона коротша за зовнішню. Для того щоб забезпечити розташування стиків рейок обох ниток один проти одного, у внутрішній нитці поряд з рейками стандартної довжини укладають вкорочені. Такі рейки випускаються спеціально для кривих ділянок колії. При довжині стандартної рейки 25 м вкорочені становлять 24,92 м і 24,84 м, тобто мають вкорочення 80 і 160 мм відповідно, а при довжині стандартної рейки 12,5 м вкорочені складають 12,46 м, 12,42 м і 12,38 м, тобто з укороченнями 40, 80 і 120 мм відповідно. З метою скорочення кількості рейок у кілометровому запасі на кожній кривій прийнято використовувати один тип укорочення.

Вкорочення внутрішньої нитки кругової кривої визначають за формулою

$$\varepsilon_{кк} = \frac{S_1 l_{кк}}{R}, \quad (43)$$

де S_1 – відстань між осями рейок, приймається при ширині колії 1520 мм рівною 1600 мм;

$l_{кк}$ – довжина кругової кривої, м.

Вкорочення на частині кругової кривої $l_{ккx}$ від кінця перехідної кривої

$$\varepsilon_{ккx} = \frac{S_1 l_{ккx}}{R}. \quad (44)$$

Вкорочення по всій довжині перехідної кривої

$$\varepsilon_{нк} = \frac{S_1 l_o}{2R}. \quad (45)$$

Вкорочення на частині перехідної кривої l_{ox} від її початку

$$\varepsilon_{нкх} = \frac{S_1 l_{ох}^2}{2C}, \quad (46)$$

де C – параметр перехідної кривої, який визначається за формулою (23).

Сумарне вкорочення на всій кривій дорівнює

$$\varepsilon = \varepsilon_{кк} + 2\varepsilon_{нк}. \quad (47)$$

Вкорочення на довжині кривої від початку першої перехідної кривої до точки, що перебуває на другій перехідній кривій на відстані $l_{ох}$ від її початку,

$$\varepsilon_x = \varepsilon_{кк} + 2\varepsilon_{нк} - \frac{S_1 l_{ох}^2}{2C}. \quad (48)$$

Загальна кількість укорочених рейок у кривій, що розглядається, визначається відповідно до виразу

$$N_{ек} = \frac{\varepsilon}{K}, \quad (49)$$

де K – прийняте стандартне вкорочення.

Величина стандартного вкорочення K залежно від довжини стандартних рейок, що лежать у колії, приймається, орієнтуючись на величину вкорочення, отриманого за формулою (43), у розрахунку на довжину однієї стандартної рейки $l_{см}$, тобто

$$\varepsilon_1 = \frac{S_1 l_{см}}{R}. \quad (50)$$

Загальна кількість рейок по кожній рейковій нитці в кривій розраховується за формулою

$$N = \frac{L_{кр}}{A} \quad (51)$$

де A – довжина стандартної рейки з урахуванням зазорів у стиках; приймається для рейок довжиною 25 м – $A = 25,01$ м, для рейок довжиною 12,5 м – $A = 12,51$ м.

6.2 Приклад розрахунку

Розрахунок кількості і порядку укладання вкорочених рейок виконується для кривої радіусом 410 м, кут повороту якої $\beta = 54^\circ$ (0,9474 рад.), довжина перехідної кривої – 150 м. У зовнішній нитці кривої лежать рейки довжиною $l_{cm} = 25$ м, а з урахуванням зазорів у стиках – $A = 25,01$ м. Початок першої перехідної кривої знаходиться на відстані від першого за рахунком кілометрів стику $A_1 = 10$ м.

Параметр перехідної кривої за формулою (23)

$$C = R \cdot l_o = 410 \cdot 150 = 61500 \text{ м}^2.$$

Кут нахилу перехідної кривої у її кінці відповідно до формули (27)

$$\varphi_o = \frac{l_o}{2R} = \frac{150}{2 \cdot 410} = 0,183 \text{ рад.}$$

Довжина кругової кривої відповідно до формули (29)

$$l_{kk} = R(\beta - 2\varphi_o) = 410 \cdot (0,9474 - 2 \cdot 0,183) = 239 \text{ м.}$$

Вкорочення на круговій кривій за формулою (43)

$$\varepsilon_{kk} = \frac{1,6 \cdot 239}{410} = 0,933 \text{ м.}$$

Вкорочення на всій перехідній кривій за формулою (45)

$$\varepsilon_{пк} = \frac{1,6 \cdot 150}{2 \cdot 410} = 0,293 \text{ м.}$$

Сумарне вкорочення на всій кривій за формулою (47)

$$\varepsilon = 0,933 + 2 \cdot 0,293 = 1,519 \text{ м.}$$

Стандартне вкорочення прийнято $K = 160$ мм, бо відповідно до формули (50)

$$\varepsilon_1 = \frac{1,6 \cdot 25}{410} = 0,098 \text{ м.}$$

Кількість укорочених рейок у внутрішній нитці за формулою (49)

$$N_y = \frac{\varepsilon}{K} = \frac{1,519}{0,160} = 9,49 = 9 \text{ шт.}$$

Загальна кількість рейок по кожній рейковій нитці в кривій відповідно до формули (51)

$$N = \frac{L_{\text{кр}}}{A} = \frac{2 \cdot 150 + 239}{25,01} = 21,55 = 22 \text{ шт.}$$

Далі за наведеними вище формулами визначається укорочення внутрішньої рейкової нитки на стиках перехідних і кругової кривих.

Відстань від початку першої перехідної кривої (ППК-1) до першого стику на ній $A_2 = 25,01 - 10,0 = 15,01$ м. На цій довжині вкорочення внутрішньої нитки за формулою (46) складе

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{S_1 l_{ox}^2}{2C} = \frac{1,6 \cdot 15,01^2}{2 \cdot 61500} = 0,003 \text{ м;} \\ \varepsilon_2 &= \frac{1,6 \cdot (15,01 + 25,01)^2}{2 \cdot 61500} = 0,021 \text{ м;} \\ \varepsilon_3 &= \frac{1,6 \cdot (15,01 + 50,02)^2}{2 \cdot 61500} = 0,055 \text{ м;} \\ \varepsilon_4 &= \frac{1,6 \cdot (15,01 + 75,03)^2}{2 \cdot 61500} = 0,106 \text{ м;} \\ \varepsilon_5 &= \frac{1,6 \cdot (15,01 + 100,04)^2}{2 \cdot 61500} = 0,172 \text{ м;} \\ \varepsilon_6 &= \frac{1,6 \cdot (15,01 + 125,05)^2}{2 \cdot 61500} = 0,255 \text{ м.} \end{aligned}$$

Стик сьомої рейки знаходиться на круговій кривій і розташований від її початку на відстані $A_4 = A_2 + A \cdot 6 - l_o = 15,01 + 25,01 \cdot 6 - 150 = 15,07$ м, тоді вкорочення у цього стику складатиме

$$\begin{aligned}
\varepsilon_7 &= \varepsilon_{\text{ПК}} + \frac{1,6 \cdot 15,07}{410} = 0,293 + 0,059 = 0,352 \text{ м}; \\
\varepsilon_8 &= \varepsilon_7 + \frac{1,6 \cdot 25,01}{410} = 0,352 + 0,098 = 0,450 \text{ м}; \\
\varepsilon_9 &= \varepsilon_8 + \frac{1,6 \cdot 25,01}{410} = 0,450 + 0,098 = 0,548 \text{ м}; \\
\varepsilon_{10} &= \varepsilon_9 + \frac{1,6 \cdot 25,01}{410} = 0,548 + 0,098 = 0,646 \text{ м}; \\
\varepsilon_{11} &= \varepsilon_{10} + \frac{1,6 \cdot 25,01}{410} = 0,646 + 0,098 = 0,744 \text{ м}; \\
\varepsilon_{12} &= \varepsilon_{11} + \frac{1,6 \cdot 25,01}{410} = 0,744 + 0,098 = 0,842 \text{ м}; \\
\varepsilon_{13} &= \varepsilon_{12} + \frac{1,6 \cdot 25,01}{410} = 0,842 + 0,098 = 0,940 \text{ м}; \\
\varepsilon_{14} &= \varepsilon_{13} + \frac{1,6 \cdot 25,01}{410} = 0,940 + 0,098 = 1,038 \text{ м}; \\
\varepsilon_{15} &= \varepsilon_{14} + \frac{1,6 \cdot 25,01}{410} = 1,038 + 0,098 = 1,136 \text{ м}.
\end{aligned}$$

Оскільки кінець кругової кривої припадає на шістнадцяту рейку від її початку на відстані $A_5 = l_{\text{КК}} - (A_4 + A \cdot 8) = 239 - (15,07 + 25,01 \cdot 8) = 23,85$ м, то вкорочення у кінці кругової кривої буде

$$\varepsilon_{\text{КПК2}} = \varepsilon_{15} + \frac{1,6 \cdot 23,85}{410} = 1,136 + 0,093 = 1,229 \text{ м}.$$

Шістнадцятий стик знаходиться на другій перехідній кривій, вкорочення біля нього визначаємо за формулою (48), виходячи з того, що відстань від початку даної перехідної кривої (ППК-2) до найближчого стику на ній дорівнює

$$A_7 = l_o - (25,01 - A_5) - A \cdot 5 = 150 - 1,16 - 25,01 \cdot 5 = 23,79 \text{ м}.$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{16} &= 1,519 - \frac{1,6 \cdot (23,79 + 125,05)^2}{2 \cdot 61500} = 1,231 \text{ м}; \\
\varepsilon_{17} &= 1,519 - \frac{1,6 \cdot (23,79 + 100,04)^2}{2 \cdot 61500} = 1,320 \text{ м}; \\
\varepsilon_{18} &= 1,519 - \frac{1,6 \cdot (23,79 + 75,03)^2}{2 \cdot 61500} = 1,392 \text{ м}; \\
\varepsilon_{19} &= 1,519 - \frac{1,6 \cdot (23,79 + 50,02)^2}{2 \cdot 61500} = 1,448 \text{ м}; \\
\varepsilon_{20} &= 1,519 - \frac{1,6 \cdot (23,79 + 25,01)^2}{2 \cdot 61500} = 1,488 \text{ м}; \\
\varepsilon_{21} &= 1,519 - \frac{1,6 \cdot 23,79^2}{2 \cdot 61500} = 1,512 \text{ м}.
\end{aligned}$$

Визначення місць укладання вкорочених рейок на внутрішній нитці ведеться у табличній формі (таблиця 7), причому неодмінною умовою при цьому є таке їхнє чергування зі стандартними рейками, щоб забіг стиків не перевищував половини прийнятого стандартного вкорочення, тобто в даному випадку – не більше 80 мм.

Користуючись заданими й отриманими параметрами, креслимо схему кривої (рисунок 12).

Таблиця 7 – Порядок укладання вкорочених рейок на внутрішній нитці

Номер рейки	Місце розташування рейки	Довжина рейки із зазором, м	Розрахункове вкороч. з наростаючим підсумком, мм	Фактичне вкорочення, мм		Величина забігу стиків, мм
				кожної рейки	нарост. підсумком	
1	Пряма	10	0	0	0	0
1	Перех. кр.	15,01	3	0	0	-3
2	Перех. кр.	25,01	21	0	0	-21
3	Перех. кр.	25,01	55	0	0	-55
4	Перех. кр.	25,01	106	160	160	54
5	Перех. кр.	25,01	172	0	160	-12
6	Перех. кр.	25,01	255	160	320	65
7	Перех. кр.	9,94	293	0	320	27
7	Круг. кр.	15,07	352	0	320	-32
8	Круг. кр.	25,01	450	160	480	30
9	Круг. кр.	25,01	548	0	480	68
10	Круг. кр.	25,01	646	160	640	-6
11	Круг. кр.	25,01	744	160	800	56
12	Круг. кр.	25,01	842	0	800	-42
13	Круг. кр.	25,01	940	160	960	20
14	Круг. кр.	25,01	1038	0	960	-78
15	Круг. кр.	25,01	1136	160	1120	-16
16	Круг. кр.	23,85	1229	160	1280	51
16	Перех. кр.	1,16	1231	0	1280	49
17	Перех. кр.	25,01	1320	0	1280	-40
18	Перех. кр.	25,01	1392	160	1440	48
19	Перех. кр.	25,01	1448	0	1440	-8
20	Перех. кр.	25,01	1488	0	1440	-48
21	Перех. кр.	25,01	1512	0	1440	-72
22	Перех. кр.	23,79	1519	0	1440	-79

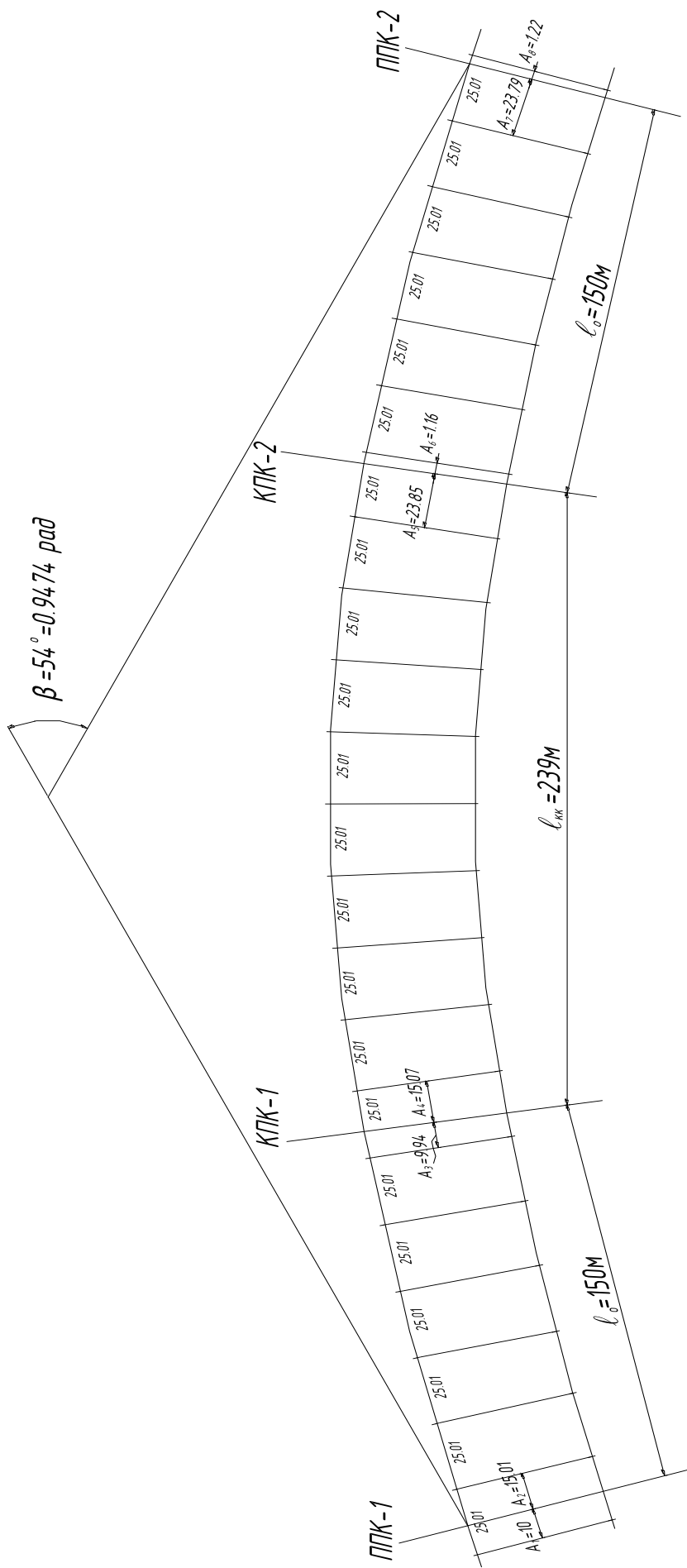


Рисунок 12 - Схема кривої для розрахунку укладання вкочорених рейок

6.3 Розрахунок порядку укладання вкорочених рейок у кривій на ПЕОМ

За приведеним у п. 6.1 алгоритмом, складено програму розрахунку вкорочених рейок мовою Бейсик.

Після підготовки ПЕОМ до роботи і завантаження програми виконується введення вихідних даних відповідно до заздалегідь підготовленого макета (додаток В, таблиця В.1).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст] : підруч. для студ. ВНЗ : у 2 т. / Е. І. Даніленко. – К. : Інпрес, 2010. – Т. 1. – 528 с.

2 Основы устройства и расчетов железнодорожного пути [Текст] / Т. Г. Яковлева, В. Я. Шульга, С. В. Амелин; под ред. С. В. Амелина, Т. Г. Яковлевой. – М. : Транспорт, 1990. – 367 с.

3 Железнодорожный путь [Текст] / Т. Г. Яковлева, Н. И. Карпущенко, С. И. Клинов [и др.]; под ред. Т. Г. Яковлевой. – М. : Транспорт, 1999. – 405 с.

4 Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст] : учебн. для вузов ж.-д. трансп. / Г. М. Шахунянц. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.

5 Шахунянц, Г. М. Проектирование железнодорожного пути [Текст] / Г. М. Шахунянц. – М. : Транспорт, 1972. – 320 с.

6 Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст] : ЦП-0269 / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, В. О. Курган [та ін.]. – К. : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.

7 Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. – К., 2003. – 133 с.

8 Каменский, В. Б. Справочник дорожного мастера [Текст] / В. Б. Каменский, Л. Д. Горбов. – М. : Транспорт, 1985. – 487 с.

9 Указания по применению габаритов приближения строений [Текст] : ГОСТ 9239-73. – М. : Транспорт, 1973. – 184 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Вихідні дані на проектування рейкової колії

Дані	Варіанти				
	0	1	2	3	4
Характеристика поїздів та умови їхнього руху					
1 Розрахунковий екіпаж	ВЛ60	ВЛ80	ВЛ23	ВЛ8	ВЛ10
2 Швидкість руху поїздів по кривій, км/год:					
а) швидких	80	90	65	75	80
б) пасажирських	70	80	60	70	75
в) приміських	60	70	50	60	60
г) вантажних	50	60	40	50	55
3 Вага поїздів, т:					
а) швидких	800	500	600	700	800
б) пасажирських	1000	1100	800	900	1000
в) приміських	600	400	500	600	600
г) вантажних	2200	2400	2500	2300	2600
4 Кількість поїздів:					
а) швидких	4	4	6	6	2
б) пасажирських	4	6	4	10	4
в) приміських	4	6	6	6	4
г) вантажних	14	16	12	16	20
Параметри кривої					
5 Радіус кривої, м	350	400	260	310	360
6 Кут повороту лінії, град	32	34	38	42	46
Довжина рейок, м	12,5	12,5	25,0	25,0	12,5

Продовження таблиці А.1

Дані	Варіанти				
	5	6	7	8	9
Характеристика поїздів та умови їхнього руху					
1 Розрахунковий екіпаж	ЧС1	ЧС2	ТЕ7	ТЕ3	2ТЕ10Л
2 Швидкість руху поїздів по кривій, км/год:					
а) швидких	80	60	70	70	80
б) пасажирських	70	50	60	60	65
в) приміських	65	50	55	55	60
г) вантажних	60	40	50	40	50
3 Вага поїздів, т:					
а) швидких	500	600	700	800	500
б) пасажирських	1100	800	900	1000	1100
в) приміських	600	600	400	500	600
г) вантажних	2700	2800	2900	3000	3100
4 Кількість поїздів:					
а) швидких	2	4	2	2	4
б) пасажирських	2	2	4	6	8
в) приміських	4	2	2	2	2
г) вантажних	24	10	20	10	8
Параметри кривої					
5 Радіус кривої, м	410	275	325	370	420
6 Кут повороту лінії, град	50	54	58	44	46
Довжина рейок, м	25,0	25,0	12,5	12,5	25,0

Продовження таблиці А.1

Дані	Варіанти				
	10	11	12	13	14
Характеристика поїздів та умови їхнього руху					
1 Розрахунковий екіпаж	2ТЕ116	ТЕП10	ТЕП60	ТЕП70	2ТЕ121
2 Швидкість руху поїздів по кривій, км/год:					
а) швидких	60	70	75	70	60
б) пасажирських	50	60	65	60	55
в) приміських	50	50	60	55	50
г) вантажних	40	40	50	50	40
3 Вага поїздів, т:					
а) швидких	600	700	800	700	500
б) пасажирських	700	800	900	1000	1100
в) приміських	400	500	600	400	500
г) вантажних	3200	3000	2900	2800	2700
4 Кількість поїздів:					
а) швидких	4	4	2	2	2
б) пасажирських	6	4	12	8	6
в) приміських	2	6	4	4	6
г) вантажних	10	24	18	22	12
Параметри кривої					
5 Радіус кривої, м	280	330	380	300	290
6 Кут повороту лінії, град	50	53	50	49	43
Довжина рейок, м	12,5	25,0	12,5	25,0	12,5

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Параметри ходових частин рухомого складу

Тип екіпажу	Осьова формула	Діаметр колеса по колу катання d , см	Довжина жорсткої бази L_o , см	Поперечні розбіги осей η , мм	
				крайніх η_1	середніх η_2
Електровози змінного струму					
ВЛ60, ВЛ60 ^К	3o-3o	125	460	1,0	15,5
ВЛ80, ВЛ80 ^К , ВЛ82 ^М	2o-2o	125	300	1,0	–
Ф	3o-3o	125	467	0	0
Ф ^П	3o-3o	125	484	0	0
ЧС4 ^Г	3o-3o	125	460	1,3	1,3
К	3o-3o	125	495	0	0
Електровози постійного струму					
ВЛ23	3o-3o	120	440	0	14
ВЛ8	2o-2o	120	320	2,9	–
ВЛ10	2o-2o	125	300	1,0	–
ЧС1, ЧС3, ЧС200	2o-2o	125	333	0	–
ЧС2 ^М , ЧС2 ^Т	3o-3o	125	460	0	0
Тепловози					
ТЕ3, ТЕ7, ТЕ30	3o-3o	105	420	1,5	14
2ТЕ10Л	2(3o-3o)	105	420	1,5	14
2ТЕ10В, 2ТЕ116	2(3o-3o)	105	370	1,5	14
2ТЕ121	2(3o-3o)	105	440	1,5	14
ТЕП10	3o-3o	105	420	1,5	14
ТЕП60	3o-3o	105	460	1,5	14
ТЕП70	3o-3o	105	430	1,5	14
ТЕП75	3o-3o	122	430	1,5	14
ТГ102К	2o-2o	122	250	1,5	–
Вагони					
Вантажний 4-віс.	2o-2o	95	185	6	–
Вантажний 6-віс.	3o-3o	95	350	2	6
Пасажирський	2o-2o	105	270	6	–

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Макет вихідних даних для розрахунку вкорочених рейок

Початкова адреса	Радіус кривої	Кут повороту	Довжина рейки із зазором	Довжина перехідної кривої	Прийняте стандартне вкорочення	Відстань від початку кривої до першого стику	Відстань між осями рейок
	R , м	β , рад	A , м	l_o , м	K , мм	A_2 , м	S_1 , м
800 DATA							

