

**БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра колії та колійного господарства**

**Секція проектування, технології та організації будівництва  
й реконструкції залізниць**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання індивідуальних, розрахунково-графічних  
завдань, розділу курсового та дипломного проектування  
з дисципліни**

***«ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ НА МІЖНАРОДНИХ  
ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРАХ ТА  
ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАГІСТРАЛЯХ»***

**Харків - 2016**

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри колії та колійного господарства 2 листопада 2015 р., протокол № 3.

У методичних вказівках розглянуто загальні положення проектування плану залізниць, проектування плану на спеціалізованих ділянках високошвидкісних магістралей та міжнародних транспортних коридорів, проектування плану при сумісному русі поїздів на високошвидкісних магістралях та міжнародних транспортних коридорів, вимоги до плану лінії при прискоренні руху поїздів на залізницях України, а також наведено питання до самоконтролю та підготовки захисту роботи.

Методичні вказівки ґрунтуються на діючій нормативно-технічній документації України та на досвіді виконання робіт з проектування залізниць на ВШМ та МТК.

Методичні вказівки рекомендовано для студентів спеціальності 273 “Залізничний транспорт” всіх форм навчання.

Укладачі:

доценти С.М. Камчатна,  
О.О. Матвієнко,  
асист. А.О. Шевченко

Рецензент

доц. В.Г. Мануйленко

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання індивідуальних, розрахунково-графічних завдань,  
розділу курсового та дипломного проектування  
з дисципліни

*«ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ НА МІЖНАРОДНИХ  
ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРАХ ТА ВИСОКОШВИДКІСНИХ  
МАГІСТРАЛЯХ»*

Відповідальний за випуск Шевченко А.О.

Редактор Еткало О.О.

---

Підписано до друку 12.11.15 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного  
транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

## ЗМІСТ

Вступ	4
1 Вихідні дані	5
1.1 Зміст роботи	5
1.2 Перелік документів, які необхідно подати для захисту	6
2 Загальні положення проектування плану залізниць	8
2.1 Проектування плану на спеціалізованих ділянках ВШМ і МТК	14
2.2 Проектування плану при сумісному русі поїздів ВШМ і МТК	21
2.3 Вимоги до плану ліній при прискоренні руху поїздів на залізницях України	24
Питання до самоконтролю та підготовки до захисту роботи	27
Список літератури	28
Додаток А. Класифікація напрямків за категоріями поїздів і структурою поїздопотоків	30
Додаток Б. Класифікація напрямків за критеріями безпеки, плавності та комфортабельності їзди	31
Додаток В. Визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих	33
Додаток Г. Розрахунок плану на спеціалізованих ділянках ВШМ та МТК	34
Додаток Д. Визначення параметрів плану при сумісному русі поїздів	37
Додаток Е. Проектування плану на ділянках прискореного руху поїздів І-ПС згідно з ЦП-0269	39

## Вступ

З моменту виникнення залізниць у всіх промислово розвинутих країнах проводились дослідження й випробування щодо збільшення швидкості руху поїздів. І зараз проблема підвищення швидкості руху поїздів на залізницях України має велике значення.

Актуальність проблеми введення швидкісного руху поїздів у міжнародному сполученні зросла після розроблення Концепції та Програми реконструкції на залізничному транспорті України і прийняття Кабінетом Міністрів України Програми створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів (МТК).

З участю експертів компанії «Systra» і фахівців Укрзалізниці проведено дослідження щодо введення високошвидкісного руху поїздів (ВШМ) на залізницях України.

План залізничної колії є основним фактором, від якого залежить безперебійність, плавність, безпека і комфорт пасажирів.

При проектуванні плану колії на ВШМ і МТК можливо виділити три основні напрямки:

- проектування плану на спеціалізованих ВШМ і МТК;
- проектування плану при сумісному русі поїздів на ВШМ і МТК;
- приведення плану існуючих залізниць для прискореного руху.

При вирішенні цих завдань необхідно:

- враховувати новітні досягнення науки і техніки;
- передбачити економічні витрати ресурсів;
- мати на увазі індустріальні методи будівництва;
- забезпечити безпеку, безперебійність, плавність руху поїздів і комфорт пасажирів;
- забезпечити захист навколишнього середовища;
- забезпечити охорону праці робітників.

## 1 Вихідні дані

Вихідні дані для розроблення розрахунково-графічної роботи, розділу курсового та дипломного проектування наведено у таблиці 1.1, де порядковий номер відповідає номеру згідно із завданням.

### 1.1 Зміст роботи

Для заданих вихідних даних необхідно описати наявність і стан ВШМ і МТК для заданої країни.

Порядок розрахунку плану залізниці на спеціалізованій лінії такий:

- розрахувати радіус кривої за вихідними даними за умови, що непогашене прискорення  $a_n$  дорівнює нулю, а підвищення зовнішньої рейки дорівнює заданому;

- те ж саме за умови що непогашене прискорення  $a_n$  дорівнює нормативному;

- визначити збільшення довжини лінії при меншому радіусі кривої;

- визначити оптимальний радіус кривої;

- розрахувати ухил відводу зовнішньої рейки;

- визначити довжину перехідної кривої;

- визначити зростання непогашеного прискорення.

Порядок розрахунку плану лінії залізниці при сумісному русі такий:

- визначити підвищення зовнішньої рейки;

- визначити радіус кривої;

- розрахувати ухил відводу;

- розрахувати довжину перехідної кривої;

- на основі отриманих даних визначити непогашене прискорення пасажирського поїзда і вантажного при максимальній і мінімальній швидкості руху;

- визначити швидкість зростання непогашених прискорень у пасажирського та вантажного поїзда.

Порядок розрахунку плану лінії при приведенні існуючого плану до прискореного руху такий:

- визначити фактичну швидкість руху поїзда по кривій у залежності від радіуса кривої, довжини перехідної кривої, швидкості підйому колеса по рейці і швидкості зростання непогашеного прискорення;
- привести розрахункові швидкості до нормативних.

## **1.2 Перелік документів, які необхідно подати для захисту**

У пояснювальній записці коротко викладається текст за розділами проекту з обґрунтуванням прийнятих рішень, наводяться формули з поясненням параметрів і позначень, прийнятих у них, а також усі розрахунки з їх остаточними результатами.

До кожного розділу проекту необхідно дати обґрунтування прийнятих технічних рішень і розрахунків із наведенням формул у загальному вигляді і розшифруванням літерних позначень, які входять до них. За першим знаком рівності після формули проставляються цифрові значення, а потім остаточний результат без проміжних обчислень, з обов'язковою вказівкою розмірності, якщо отримана величина не є безрозмірною.

Пояснювальна записка повинна мати титульний аркуш, завдання, зміст, розділи з рисунками (графіками) і таблицями та список літератури.

Додаткова інформація, щодо виконання розрахунків роботи, наведена у додатках А – Е.

Графічна частина і пояснювальна записка проекту повинні бути оформлені відповідно до вимог [12, 13].

При захисті роботи необхідно орієнтуватися у питаннях, які розглядалися на лекціях, практичних заняттях.

Результати захисту проекту оцінюються комісією у складі двох-трьох викладачів.

Оцінювання виконаного проекту здійснюється за двома складовими:

- а) виконання проекту;
- б) захист проекту.

Підсумкова оцінка за проект визначається як середньозважена двох перелічених складових.

Детальна інформація щодо організації контролю виконання проекту та формування підсумкової оцінки доводиться до відома студентів на першому аудиторному занятті з дисципліни.

## 2 Загальні положення проектування плану залізниць

План залізничної колії показано на рисунку 2.1. План залізничної колії складається із прямих і кривих ділянок.

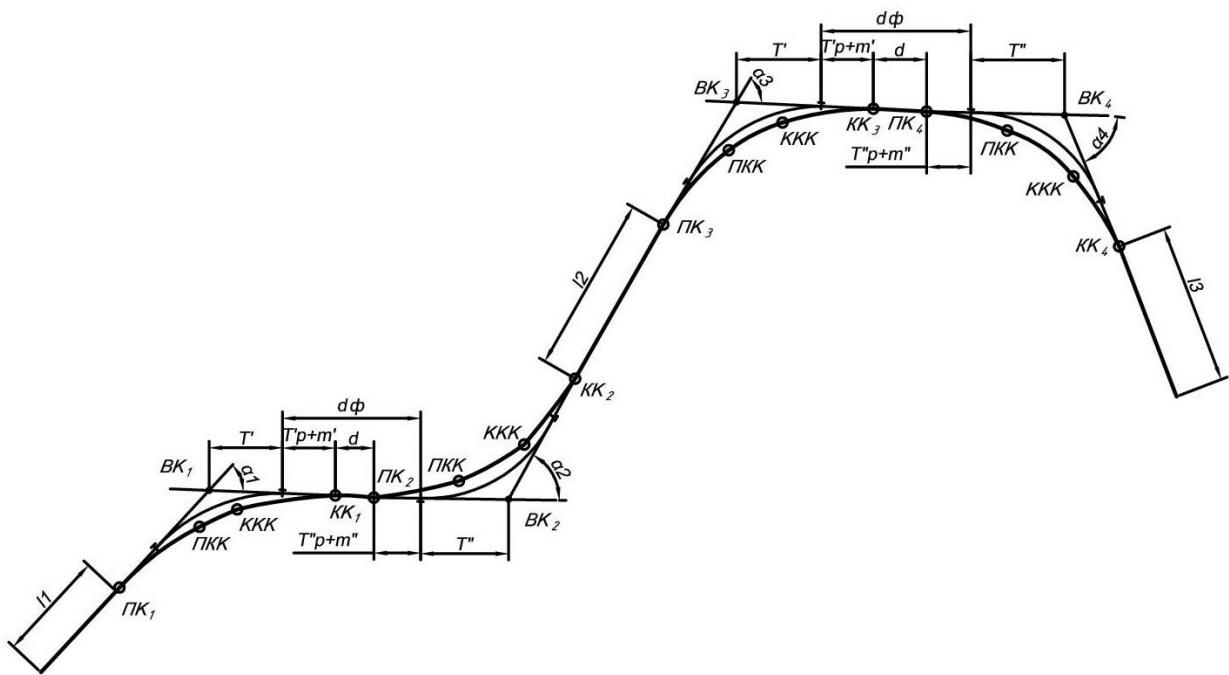


Рисунок 2.1 – План залізничної колії

На прямих ділянках колії від дії рухомого складу обидві рейкові нитки завантажені вертикальними силами рівномірно. При русі залізничного екіпажа по кривій ділянці колії з'являється відцентрована сила, яка створює додаткову дію коліс на зовнішню рейкову нитку. Відцентрована сила визначається за формулою

$$I = \frac{mV^2}{R}, \quad (2.1)$$

де  $m$  – маса рухомої одиниці, т;  
 $V$  – швидкість руху екіпажа, м/с;  
 $R$  – радіус кривої, м.



Для передачі вертикального зусилля від коліс рухомого складу під час руху по кривій рівномірно на обидві рейкові нитки отримати рівномірний знос рейок обох ниток і забезпечити пасажирам комфортабельність при їзді, у кривих ділянках улаштовують підвищення зовнішньої рейки по відношенню до внутрішньої на величину  $h$  згідно з рисунком 2.2. У цьому випадку рейковий екіпаж нахиляється до горизонту і відцентрована сила  $I$  зменшується на величину горизонтальної складової  $H$  сили ваги екіпажа.

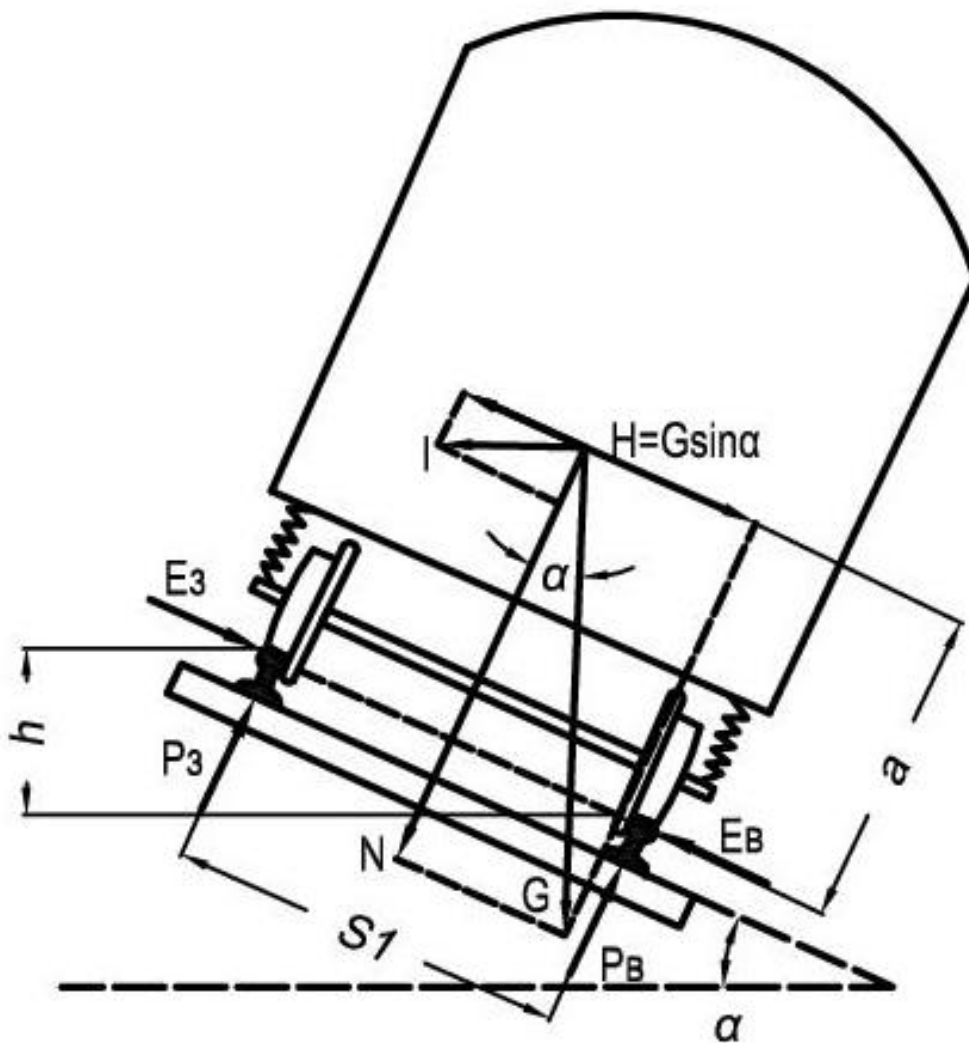


Рисунок 2.2 – Сили, що діють на одиницю рухомого складу в кривій при підвищенні зовнішньої рейки

Із рисунка 2.2 горизонтальна складова  $H$  сили ваги екіпажа визначається формулою

$$H = \frac{Gh}{S} = \frac{mgh}{S}, \quad (2.2)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$h$  – підвищення зовнішньої рейки,  $\text{м}$ ;

$S$  – відстань між центрами площадок контакту коліс з рейками;  $S = 1,6 \text{ м}$ .

Рівність відцентрованої сили  $I$  та сили  $H$  і є основою для розрахунку підвищення зовнішньої рейки, тобто

$$\frac{mV^2}{R} = \frac{mgh}{S}, \quad (2.3)$$

звідки

$$h = \frac{SV^2}{gR}. \quad (2.4)$$

Якщо ж сили  $I$  і  $H$  нерівні, тоді виникає сила  $\pm \Delta F$ , яка згідно з другим законом Ньютона дорівнює

$$\frac{mV^2}{R} - \frac{mgh}{S} = \pm \Delta F = ma. \quad (2.5)$$

Формулу (2.5) можна переписати у такому вигляді:

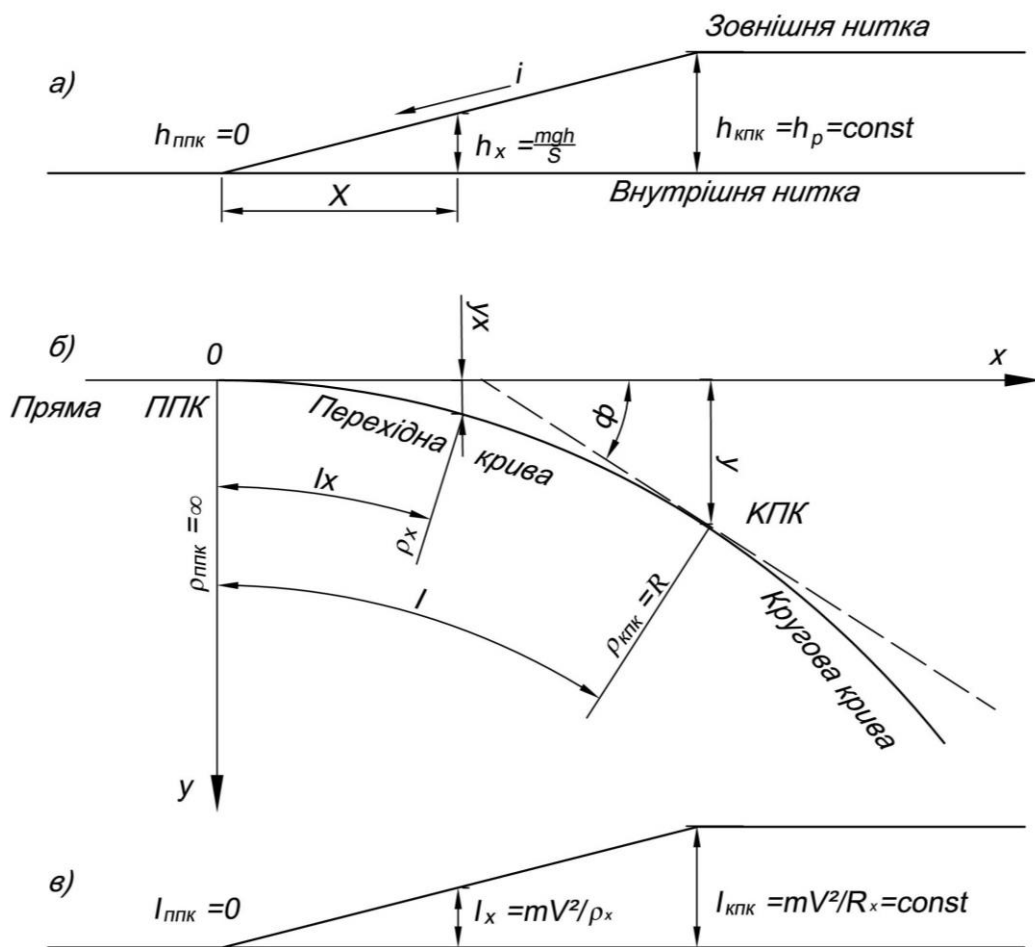
$$\frac{V^2}{R} - \frac{gh}{S} = \pm a, \quad (2.6)$$

де  $a$  – непогашене прискорення.

Формула (2.6) справедлива для всіх трьох випадків проектування плану, бо згідно з нормами проектування можна допускати при проектуванні плану непогашене прискорення в залежності від швидкості руху екіпажа і його призначення (пасажирський чи вантажний).

Якщо безпосередньо з'єднати пряму ділянку колії з круговою кривою, то в точці їх сполучення раптово з'явиться відцентрована сила і різкий боковий поштовх. Через це між

прямими і кривими улаштовуються перехідні криві довжиною  $l$  зі змінним радіусом від величини  $R$  в кінці перехідної кривої та до незкінченності на початку перехідної кривої, щоб відцентрована сила наростала плавно. Крім того, в межах перехідної кривої здійснюється відведення підвищення  $h$  з потрібним ухилом  $i$ . Таким чином, у межах перехідної кривої плавно змінюється горизонтальна складова  $H$  і непогашена відцентрована сила  $I$  згідно з рисунком 2.3.



а – схема зміни підвищення зовнішньої рейкової нитки; б – план ділянки колії з перехідною кривою (ППК, КПК – відповідно початок і кінець перехідної кривої); в – схема зміни непогашеної відцентрованої сили

Рисунок 2.3 – Схеми до перехідної кривої

Ухил відводу визначається згідно з рисунком 2.3 за формулою

$$i = \frac{h}{l}, \quad (2.7)$$

а довжина перехідної кривої за формулою

$$l = \frac{h}{i}. \quad (2.8)$$

Враховуючи формулу (2.7), що  $h$  – це шлях, пройдений екіпажем у вертикальній площині і який визначається як швидкість підйому колеса по рейці  $f$ , м/с, на час руху  $t$ , а довжина перехідної кривої це шлях, який проходить екіпаж у горизонтальній площині і визначається як максимальна швидкість руху екіпажа  $V_{\max}$  на той же час руху  $t$ , тобто

$$i = \frac{h}{l} = \frac{ft}{V_{\max}t} = \frac{f}{V_{\max}}, \quad (2.9)$$

Загальний план залізничної колії показано на рисунку 2.1.

Із рисунка 2.1 видно, що крім прямих кривих і перехідних кривих до плану ще входять і прямі вставки між кривими.

Довжина прямої вставки  $d$  залежить від швидкості руху поїзда, напрямку кривих і в різних країнах визначається по-різному:

- у Японії при  $V_{\max} = 250$  км/год пряма вставка  $d = 150$  м;
- у Данії  $d = 0,5V_{\max}$  ;
- у Німеччині  $d = 0,2V_{\max}$  ;
- у США, Італії, Франції  $d = 30$  м.

При проектуванні плану за умовам комфортабельності їзди необхідно враховувати швидкість зміни непогашеного прискорення у часі за формулою

$$\varphi = \frac{a}{t}, \quad (2.10)$$

де  $\varphi$  – швидкість зміни непогашеного прискорення, м/с<sup>3</sup>;

$a$  – непогашене прискорення, м/с<sup>2</sup>;

$t$  – час зміни непогашеного прискорення, с.

Таким чином, при проектуванні плану залізниці необхідно враховувати такі фактори:

- швидкість руху поїзда;
- радіус кривої;
- підвищення зовнішньої рейки;
- ухил відводу підвищення;
- довжину перехідної кривої;
- пряму вставку між кривими;
- швидкість підйому колеса по рейці;
- непогашене прискорення;
- швидкість зростання непогашеного прискорення.

У таблиці 2.1 наведено нормативні параметри, які використовуються у різних країнах при проектуванні плану залізниць.

Таблиця 2.1 – Нормативні параметри, які використовуються у різних країнах при проектуванні плану залізниць

Країна	Непогашене прискорення $a$ , м/с <sup>2</sup>	Швидкість зростання непогашеного прискорення $\psi$ , м/с <sup>3</sup>	Швидкість підйому колеса по рейці $f$ , мм/с	Підвищення зовнішньої рейки $h$ , мм
Японія	0,50	0,14	45	180
Англія	0,65	0,25	38-57	150
Італія	0,85	0,15-0,33	56	150
Франція	0,85-1,0	0,3-0,85	50	180-200
Німеччина	0,65-0,85	0,3-0,7	28-31	150
Польща	0,60	0,3-0,7	28-35	150
США	0,5	0,3	32	140
Росія	0,4-0,7	0,3-0,7	24-45	150
Україна	0,3-0,7	0,3-0,7	24-45	150

Як видно із таблиці 2.1, у різних країнах різні параметри проектування плану, у зв'язку з цим при проектуванні плану залізниці необхідно ретельно проаналізувати завдання на проект і вибрати відповідні нормативи.

Усі розрахунки необхідно виконувати в одних одиницях виміру.

## **2.1 Проектування плану на спеціалізованих ділянках ВШМ і МТК**

Проектування плану спеціалізованих залізниць ВШМ і МТК передбачає швидкісний рух суто пасажирських поїздів без суміщення з вантажними. У цьому випадку необхідно визначити максимальну швидкість руху поїздів і по ній визначити категорію залізниці із норм проектування. Потім із норм проектування вибрати нормативні параметри:

- підвищення зовнішньої рейки;
- швидкість підйому колеса по рейці;
- нормативну величину непогашеного прискорення;
- нормативну величину швидкості зростання непогашеного прискорення у часі.

Користуючись цими величинами, необхідно розрахувати основні параметри плану:

- радіус кривої;
- ухил відводу підвищення зовнішньої рейки;
- довжину перехідної кривої;
- величину прямої вставки між кривими.

Радіус кривої визначається за формулою

$$R = \frac{V_{\max}^2}{\frac{gh}{S} + a_n} = \frac{SV_{\max}^2}{gh + a_n S}. \quad (2.11)$$

За цією формулою можна отримати дві величини радіуса:

- $R_1$  – за умови, що обидві рейкові нитки завантажені рівномірно, за формулою

$$R_1 = \frac{SV_{\max}^2}{gh}, \quad (2.12)$$

-  $R_2$  – за умови, що зовнішня рейка перевантажена на величину непогашеного прискорення  $a_n$ , за формулою

$$R_2 = \frac{SV_{\max}^2}{gh + a_n S}. \quad (2.13)$$

Складові цих формул потребують застосування розрахункових величин у одних розмірностях.

План ліній, розрахований за цими формулами, має такий графічний вигляд, який показано на рисунку 2.4.

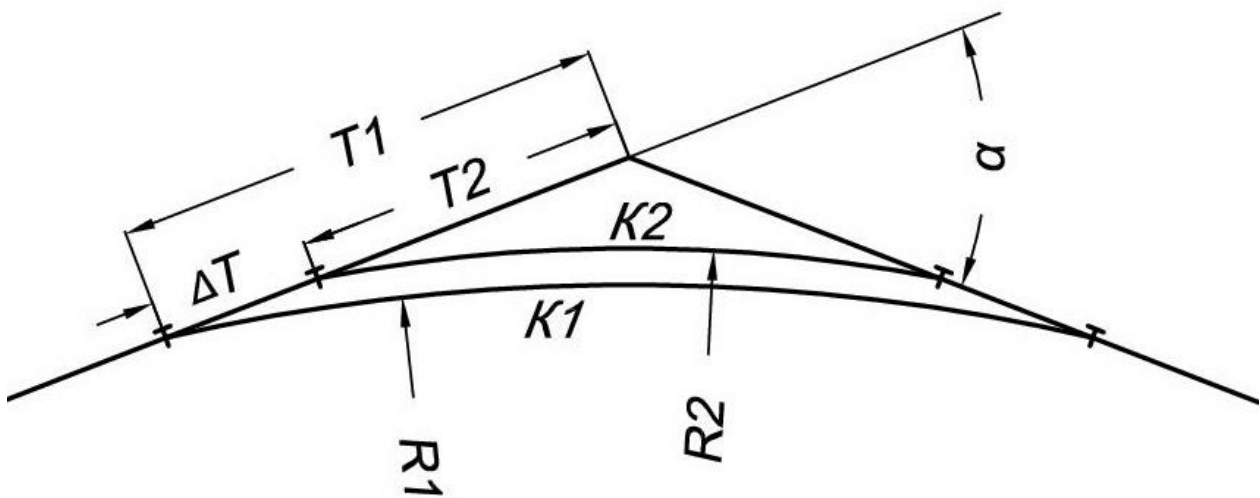


Рисунок 2.4 – Збільшення довжини лінії при меншому радіусі

Як видно з рисунка 2.4, довжина лінії при меншому радіусі  $R_2$  більша на величину  $\Delta Z$ , яка розраховується за формулою

$$\Delta Z = 2(T_1 - T_2) + K_2 - K_1 = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \Delta R + K_2 - K_1, \quad (2.14)$$

де  $\alpha$  – кут повороту кривої, град.;

$K_2$  – довжина кривої при радіусі  $R_2$ , м;

$\Delta R$  – різниця радіусів  $R_1 - R_2$ , м;

$K_1$  – довжина кривої при радіусі  $R_1$ , м.

Із аналізу цього плану можна зробити висновок, що при радіусі  $R_2$  лінія довша на величину  $\Delta Z$  і, крім того, зовнішня

рейкова нитка перевантажена. На перший погляд варіант з радіусом  $R_2$  має лише недоліки, але як показує практика будівництва, варіант з меншим радіусом дешевший, що важливо для проєктантів і будівельників, особливо коли лінія проходить у важких топографічних і гідрогеологічних умовах.

У зв'язку з цим виникає необхідність знаходження оптимального радіуса на інтервалі невизначеності  $R_2 - R_1$  згідно з рисунком 2.5.



Рисунок 2.5 – Інтервал невизначеності радіуса кривої

Для оцінки того або іншого варіанта необхідно вибрати критерій оптимальності. У сучасних умовах за критерій оптимальності приймають інтегральний ефект  $E_{int}$ , який визначається формулою

$$E_{int} = \sum_{t=0}^{T_p} (R_t - K_t) \eta_t, \quad (2.15)$$

де  $T_p$  – розрахунковий період, рр;

$R_t$  – результат за рік, тис.грн/р.;

$K_t$  – витрати за рік, тис.грн/р.;

$\eta_t$  – коефіцієнт дисконтування визначається за формулою

$$\eta_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (2.16)$$

$E$  – норма дисконту.

Маючи критерії оптимальності, для знаходження оптимального варіанта можна використати метод пасивного



пошуку, який застосовується при незначному інтервалі невизначеності.

При наявності великої кількості можливих варіантів для знаходження оптимального рішення застосовують направлений пошук. Методів направленного пошуку дуже багато, вони мають свої недоліки і переваги.

Вибір оптимального радіуса кривої відноситься до місцевих варіантів і проф. І.І. Кантор рекомендує для його визначення застосувати метод графічної ітерації. Для цього необхідно протрасувати три варіанти при різних радіусах і розрахувати критерій оптимальності за формулою

$$\mathcal{E}_{on} = KE + C, \quad (2.17)$$

де  $E$  – норма дисконту;

$K$  – будівельна вартість варіанта, тис.грн;

$C$  – експлуатаційні витрати варіанта, тис.грн.

Визначення оптимального радіуса починають з розрахунку інтервалу невизначеності, у якому він перебуває. У нашому випадку інтервал невизначеності – це  $R_1 - R_2$ .

Варіанти, які необхідно розглянути у цьому інтервалі, визначають методом «золотого перерізу» таким чином. У цьому методі варіанти, які необхідно розглянути, розміщені на відстані  $\tau$  від кінців інтервалу невизначеності згідно з рисунком 2.6. Радіус першого варіанта  $R_{B1}$  визначають як

$$R_{B1} = R_1 - \frac{R_1 - R_2}{\frac{1 + \sqrt{5}}{2}} = R_1 - \tau_i, \quad (2.18)$$

де  $\tau_i$  – інтервал невизначеності, розділений на  $\frac{1 + \sqrt{5}}{2}$ .

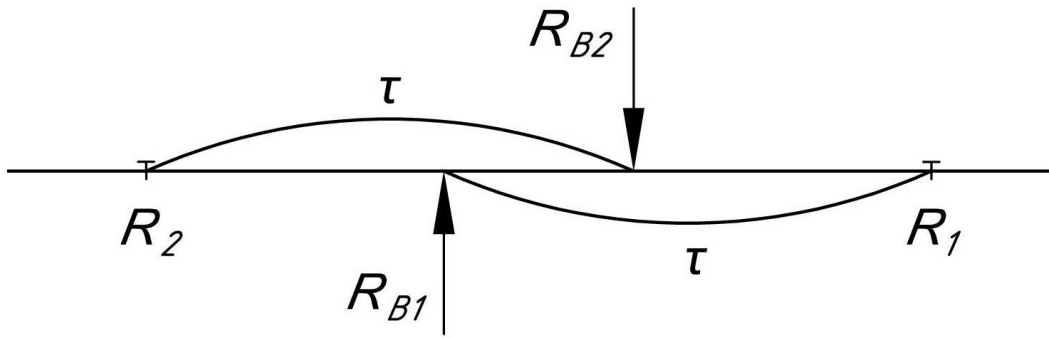


Рисунок 2.6 – Визначення варіантів

Радіус другого варіанта  $R_{B2}$  визначають як

$$R_{B2} = R_2 + \frac{R_1 - R_2}{1 + \sqrt{5}} = R_2 + \tau_i. \quad (2.19)$$

Після визначення радіуса кривої для першого варіанта визначають критерій оптимальності  $\mathcal{E}_1$ .

Після визначення радіуса кривої для другого варіанта визначають критерій оптимальності  $\mathcal{E}_2$ .

Обидва критерії оптимальності порівнюються і відкидається частина інтервалу невизначеності, яка лежить справа (чи зліва) від першого (другого) варіанта. Якщо кращим буде перший варіант, то згідно з критерієм «золотого перерізу» оптимальний варіант не може бути далі інтервалу  $R_2 - R_{B2}$ , якщо кращим буде другий варіант з радіусом  $R_2$ , то він не може бути далі  $R_{B1} - R_1$ .

Наступні варіанти в інтервалі невизначеності, який залишився, визначають таким же чином до тих пір, доки інтервал невизначеності не зменшиться до прийнятого кроку зміни радіуса ( $R_B \pm 50\text{м}$ ), наприклад 50 м. Після отримання не менше трьох критеріїв  $\mathcal{E}_{opt}$  креслимо графічну залежність  $\mathcal{E}(R)$  за якою визначають оптимальний радіус, який відповідає мінімальному  $\mathcal{E}$  (рисунок 2.7). Усі розрахунки з визначення оптимального радіуса кривої виконуються в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення оптимального радіуса  $R_{opt}$

Інтервал невизначеності	Варіанти в інтервалі	Критерій оптимальності	Інтервал невизначеності, що залишився
$R_1 - R_2$	$R_{B1} = R_1 - \tau$ $R_{B2} = R_2 + \tau$	$\mathcal{E}_1$ $\mathcal{E}_2$	$R_2 - R_{B2}$ при $\mathcal{E}_1 < \mathcal{E}_2$ $R_{B1} - R_1$ при $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$

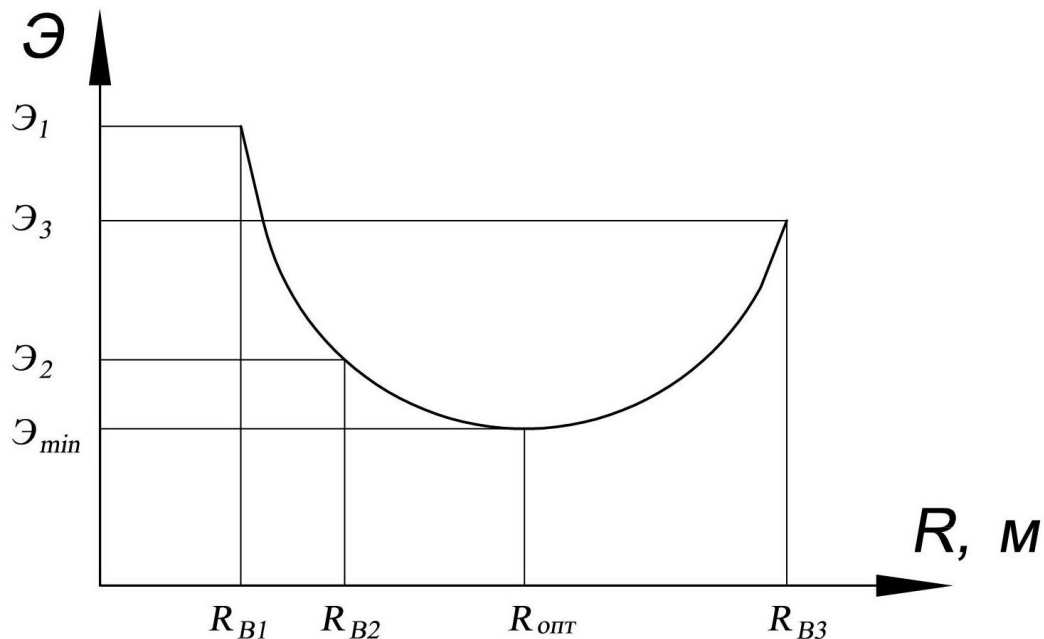


Рисунок 2.7 – Графоаналітичний вибір оптимального радіуса кривої

Після визначення оптимального радіуса кривої визначають ухил відводу зовнішньої рейки за швидкістю підйому колеса по рейці за формулою

$$i = \frac{f_n}{V_{\max}}. \quad (2.20)$$

Визначивши ухил відводу підвищення зовнішньої рейки, можна визначити довжину перехідної кривої за цим показником за формулою

$$l = \frac{h}{i}. \quad (2.21)$$

Після визначення довжини перехідної кривої за швидкістю підйому колеса по рейці можна визначити довжину перехідної кривої за умовами комфортабельності їзди пасажирів за формулою

$$\varphi = \frac{a}{t}, \quad (2.22)$$

де

$$a = \frac{V_{\max}^2}{R_{\text{онм}}} - \frac{gh}{S}, \quad (2.23)$$

$$t = \frac{l_{\text{нк}}}{V_{\max}}, \quad (2.24)$$

тобто

$$\varphi = \frac{V_{\max}^2 V_{\max}}{R_{\text{онм}} l_{\text{нк}}} - \frac{gh V_{\max}}{S l_{\text{нк}}}, \quad (2.25)$$

звідки

$$l_{\text{нк}} = \frac{V_{\max}^3}{R_{\text{онм}} \varphi} - \frac{gh V_{\max}}{S \varphi}. \quad (2.26)$$

Із двох отриманих значень довжина перехідної кривої вибирається більша й округляється до 10 м в більшу сторону.

Після визначення параметрів плану перевіряють їх на забезпечення безпеки, безперебійності, плавності руху і комфортабельності їзди за формулою

$$a_{\phi} = \frac{V_{\max}^2}{R_{\text{онм}}} - \frac{gh V_{\max}}{S} \leq a_n, \quad (2.27)$$

$$\varphi = \frac{a_{\phi}}{t} = \frac{a_{\phi} V_{\max}}{l} = \frac{V_{\max}^3}{R_{\text{онм}} l} - \frac{gh V_{\max}}{S l} \leq \varphi_{\text{нор}}. \quad (2.28)$$

Після виконання цих розрахунків приймаються проектні величини параметрів плану.

При цьому треба мати на увазі, що максимальна швидкість руху поїздів залежить від конкретних умов. Так, на керівному ухилі можливе обмеження максимальної швидкості руху поїзда за обмеженням потужності локомотива, а на керівному спуску – за гальмівною системою.

Довжина прямої вставки між кривими  $d$  визначається за нормами проектування.

Приклад проектування плану наведено у додатку Г.

## **2.2 Проектування плану при сумісному русі поїздів ВШМ і МТК**

Проектування плану залізниці на ВШМ і МТК при сумісному русі поїздів відрізняються від проектування плану на спеціалізованих лініях тим, що швидкість руху поїздів різна і тому неможливо забезпечити рівнозавантаженість обох рейок. Неможливо в цьому випадку і використати нормативне підвищення. Його необхідно розрахувати за умов забезпечення однакової вертикальної дії на обидві рейкові нитки від сумарного потоку поїздів за формулою

$$\frac{V_c^2}{R} - \frac{gh}{S} = 0, \quad (2.29)$$

де  $V_c$  – середньозважена квадратична швидкість руху потоку поїздів, яка визначається за фактичною швидкістю всіх графікових поїздів що рухаються по цій кривій, м/с.

З формули (2.29) випливає, що підвищення зовнішньої рейки визначається за формулою

$$h = \frac{V_c^2 S}{gR}. \quad (2.30)$$

Середньозважена квадратична швидкість потоку поїздів визначається за формулою

$$V_c = \sqrt{\frac{\sum_i^n Q_n V_n}{\sum_i^n Q_n}}, \quad (2.31)$$

де  $i$  – порядковий номер поїзда у вибірці;

$n$  – обсяг вибірки;

$Q_n$  – фактична вага  $n$ -ого поїзда, т;

$V_n$  – фактична швидкість  $n$ -ого поїзда, м/с.

Визначити підвищення  $h$  за формулою (2.30) неможливо, бо невідомий радіус кривої.

Радіус кривої визначається за формулою

$$\frac{V_{nac}^2}{R} - \frac{gh}{S} = a_{nac}. \quad (2.32)$$

Підставимо у цю формулу величину  $h$  із формули (2.30) і після перетворень отримаємо

$$\frac{V_{nac}^2}{R} - \frac{V_c^2}{R} = a_{nac}. \quad (2.33)$$

Після перетворень отримаємо

$$R = \frac{V_{nac}^2 - V_c^2}{a_{nac}}. \quad (2.34)$$

Отримавши за цією формулою радіус кривої, визначаємо підвищення зовнішньої рейки за формулою (2.30).

За формулою (2.20) визначаємо ухил відводу зовнішньої рейки:

$$i = \frac{f_n}{V_{nac}}. \quad (2.35)$$

За отриманою величиною  $h$  визначаємо довжину перехідної кривої за формулою

$$l = \frac{h}{i}. \quad (2.36)$$

Величину перехідної кривої округлюємо до 10 см в більшу сторону, і перевіряємо забезпечення комфортабельності їзди для всіх поїздів, для чого визначаємо фактичне непогашене прискорення кожного поїзда за формулою

$$a_{\phi} = \frac{V_i^2}{R} - \frac{gh}{S} \leq a_n, \quad (2.37)$$

де  $V_i$  – швидкість руху кожного поїзда, м/с;

$a_{\phi}$  – фактичне непогашене прискорення, м/с<sup>2</sup>;

$a_n$  – нормативне прискорення для кожної категорії поїздів, м/с<sup>2</sup>.

Якщо фактичні непогашені прискорення не перевищують нормативні, тоді визначається швидкість зростання непогашеного прискорення за формулою

$$\varphi = \frac{a}{t} = \varphi_n, \quad (2.38)$$

де  $t$  – час руху поїзда по перехідній кривій, визначається за формулою

$$t = \frac{l}{V_i}. \quad (2.39)$$

Після підстановки у формулу (2.38) виразу для  $a_{\phi}$  отримаємо

$$\varphi = \frac{V_i^2}{Rl} - \frac{ghV_i}{lS} \leq \varphi_n. \quad (2.40)$$

Таким чином, отримали всі параметри плану при проектуванні залізниць на ВШМ і МТК при змішаному русі поїздів:

- радіус кривої  $R_m$ , м;
- підвищення зовнішньої рейки  $h_m$ , м;
- ухил відводу зовнішньої рейки  $i$ , ‰;
- довжину перехідної кривої  $l_m$ , м;
- фактичне непогашене прискорення всіх поїздів за категоріями  $a_\phi$ , м/с<sup>2</sup>;
- швидкість зростання непогашеного прискорення у часі для всіх категорій поїздів  $\phi_\phi$ , м/с<sup>3</sup>;

Якщо який-небудь із параметрів не відповідає нормативному, необхідно знаходити заходи, що усунуть цю невідповідність.

Довжина прямої вставки між кривими вибирається згідно з діючими нормами проектування.

Приклад проектування параметрів плану при сумісному русі поїздів наведено у додатку Д.

### **2.3 Вимоги до плану ліній при прискоренні руху поїздів на залізницях України**

До ліній прискореного руху поїздів на залізницях України згідно з ДБН В.2.3-19-2008 віднесені лінії I категорії з додатковим якісним показником, що враховує класифікацію напрямків. При впровадженні прискореного руху поїздів розглядається два види напрямків (додаток А):

- I-П – прискорений рух суто пасажирських поїздів (суміщення з вантажними поїздами не передбачено);
- I-ПС – суміщений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміських поїздів.

Комфортабельність їзди пасажирів забезпечується обмеженням величини поздовжніх, поперечних і вертикальних непогашених прискорень.

Критерій плавності їзди для пасажирського руху оцінюється допустимим значенням повного непогашеного прискорення.

Параметри плану для прискореного руху суто пасажирських поїздів розраховуються згідно з розділом 2.1, а норми беруться з додатків А – В для напрямку I-П. Параметри плану для сумісного



руху поїздів виконуються згідно з розділом 2.2 для напрямку І-ПС та інструкцією ЦП-0269.

Для розрахунків напрямків І-П та І-ПС спочатку необхідно визначити параметри існуючого плану:

- радіус кривої  $R_\phi$ , м;
- підвищення зовнішньої рейки  $h_\phi$ , м;
- ухил відводу зовнішньої рейки  $i_\phi$ , ‰;
- довжину перехідної кривої  $l_{нк.\phi}$ , м.

І для цих параметрів визначити можливі фактичні швидкості руху поїздів:

- швидкість за радіусом кривої за формулою

$$V_{R\phi} = 3,6\sqrt{R_\phi a_{nac} + 6,13h_\phi}, \quad (2.41)$$

- швидкість за підйомом колеса по рейці за формулою

$$V_i = \frac{0,0036 fl}{h}, \quad (2.42)$$

- швидкість за умовою зміни непогашеного прискорення у часі за формулою

$$V_\phi = \frac{3,6\phi l}{a_{nac}}, \quad (2.43)$$

- радіус кривої  $R_m$ , м;
- підвищення зовнішньої рейки  $h_m$ , м;
- ухил відводу зовнішньої рейки  $i$ , ‰;
- довжина перехідної кривої  $l_m$ , м;
- непогашене прискорення пасажирських поїздів  $a_{nac}$ , м/с<sup>2</sup>;
- швидкість зростання непогашеного прискорення у часі для всіх категорій поїздів  $\phi_\phi$ , м/с<sup>3</sup>;
- швидкість  $V$ , км/год.

Після розрахунку фактичних швидкостей руху у кривій визначаються параметри, які не відповідають нормативним вимогам.

Нормативні параметри розраховуються у такому порядку:

- довжина перехідної кривої за формулою

$$l = \frac{a_n V_{nac}}{3,6\varphi}, \quad (2.44)$$

- ухил відводу зовнішньої рейки за формулою

$$i = \frac{0,0036 f}{V_{nac}}, \quad (2.45)$$

- підвищення зовнішньої рейки за формулою

$$h = \frac{0,0036 f a_n}{3,6\varphi}. \quad (2.46)$$

У формулах (2.41) – (2.46) швидкість руху поїздів вимірюється у кілометрах за годину.

Ці параметри визначаються як для напрямку І-П, так і для напрямку І-ПС. Нормативні параметри вибираються з додатків А-В.

Приклад розрахунку проектування плану на ділянках прискореного руху поїздів І-ПС згідно з ЦП – 0269 наведено у додатку Е.

## **Питання до самоконтролю та підготовки до захисту роботи**

- 1 Які нормативні документи використовуються при проектуванні плану залізниць?
- 2 На які категорії поділяються залізниці?
- 3 Що таке міжнародні транспортні коридори?
- 4 Як визначається оптимальний радіус кривої?
- 5 Від яких параметрів залежить підвищення зовнішньої рейки на коліях сумісного руху поїздів?
- 6 Які вимоги до міжнародних транспортних коридорів?
- 7 Від яких факторів залежить величина непогашеного прискорення?
- 8 Що таке інтервал невизначеності?
- 9 Що визначає коефіцієнт дисконтування?
- 10 Яка лінія має більшу довжину – при більшому чи меншому радіусі?
- 11 Які максимальні швидкості руху поїздів на ВШМ та МТК?
- 12 Які швидкості реалізуються на залізницях України?
- 13 Які фактори впливають на величину радіуса?
- 14 Чи однакові норми проектування плану залізниць у різних країнах?
- 15 Яка різниця між напрямками І-П та І-ПС?

## Список літератури

1 Концепція та Програма реконструкції на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с.

2 Програма створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні: Постанова Кабінету Міністрів України № 346 від 20.03.1998 р. – К., 1998.

3 Кирпа Г.Н. Новый уровень экономического сотрудничества в сфере международного транспортного бизнеса // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 3. – С.2–8.

4 Кірма Г.М. Дослідження умов підвищення швидкості руху поїздів на існуючих ділянках в залежності від параметрів траси / Г.М. Кірма, І.П. Корженевич, М.Б. Курган // Проектування, виробництво й експлуатація автотранспортних засобів, поїздів та нафтопроводів: Праці Зах. наук. центру. – Львів, 2002. – № 9. – С. 63–67.

5 Дифференцированные технические требования для железнодорожного пути в сообщении Европа – Азия. / Р 786. / 1. – 1-е изд. – Варшава, 1999. – 25 с.

6 ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм: Введ. 2008-08-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 123 с.

7 Кантор И.И. Изыскание и проектирование железных дорог. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 288 с.

8 Волков Б.А. Экономические изыскания и основы проектирования железных дорог: учебник / под ред. Б.А. Волкова; рец.: Ю.М. Кудрявцев, А.П. Конюхов, Л.В. Шкурина; Управление кадров и учебных заведений Федерального агентства железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 405 с.

9 Свинцов Е.С., Быков Ю.А. Основы проектирования, строительства и реконструкции железных дорог: Учебник / под общ. ред. Ю.А. Быкова, Е.С. Свинцова; рец. В.А. Подвербный, Т.И. Власова. – М.: Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009. – 447 с.

10 Кірма Г.М. Інтеграція залізничного транспорту України в європейську транспортну систему. – Дніпропетровськ, 2004. – 248 с.

11 ЦП – 0269. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. – К., 2012. – 457 с.

12 Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення і оформлення: Методичний посібник з додержання вимог нормоконтролю у студентській звітності. – Харків: УкрДАЗТ, 2014.

13 Студентська навчальна звітність. Графічні конструкторські документи. Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення. Методичний посібник з додержання вимог нормоконтролю у студентській звітності. – Харків: УкрДАЗТ, 2006.

## Додаток А

### Класифікація напрямків за категоріями поїздів і структурою поїздопотоків

Характеристика напрямку	Максимальна швидкість, км/год	Категорії поїздів і структура поїздопотоків	Максимальне навантаження на вісь, кН/вісь
<p style="text-align: center;">І-П</p> <p style="text-align: center;">Прискорений пасажирський рух суміщений з прискореним рухом приміських поїздів</p>	$141 \leq V_{\max .пас} \leq 160$ $V_{прим,приск} = 91 - 140$	<p style="text-align: center;"><math>n_{приск}</math> – прискорені пасажирські поїзди (<math>n_{приск} =</math> не менше 85-90%)</p> <p style="text-align: center;"><math>n_{прим,приск}</math> – прискорені приміські поїзди (<math>n_{прим,приск} =</math> 10-15 %)</p>	<p style="text-align: center;">Моторвагонні секції / локомотив і прискорених пасажирських поїздів 180/215, вагони пасажирських прискорених поїздів 160</p>

І-ПС	Суміщений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами	$121 \leq V_{\max .пас} \leq 160$ $V_{прим,приск} = 91 - 140$ $V_{вант} = 71 - 90$	$n_{приск} -$ прискорені пасажирські поїзди ( $n_{приск} = 60-70 \%$ ) $n_{прим,приск} -$ прискорені приміські поїзди ( $n_{прим,приск} = 15-20 \%$ ) $n_{зб} -$ вантажні + збірні поїзди ( $n_{зб} = 7-10 \%$ )	Моторвагонні секції/локомотиви прискорених пасажирських поїздів 180/215, вагони пасажирських прискорених поїздів 160, вагони вантажних збірних поїздів 230/215, локомотиви/вагон и вантажних звичайних поїздів 235/232
------	---	--	--	--

### Додаток Б

Класифікація напрямків за критеріями безпеки, плавності та комфортабельності їзди

Характеристика напрямку	Максимальне допустиме непогашене прискорення $a_{нт}^{доп}$ , м/с <sup>2</sup>	Максимальна допустима зміна непогашеного прискорення за одиницю часу $\varphi^{доп}$ , м/с <sup>3</sup>	Максимальна допустима швидкість підйому колеса по вивдводу підвищення зовнішньої рейки $f^{доп}$ , мм/с <sup>3</sup>	Максимальна допустима крутизна вивдводу підвищення зовнішньої рейки $i_g$ , ‰
-------------------------	--	---	--	---

I-П	Прискорений пасажирський рух, суміщений з прискореним рухом приміських поїздів	$a_{\text{нп}}^{\text{прим,нас}} = 0,7$	$\varphi = 0,5$	$f = 30$	$i_g = 0,67$
I-ПС	Суміщений рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами	$a_{\text{нп}}^{\text{прим,нас}} = 0,7$ $a_{\text{нп}}^{\text{вант}} = \pm 0,3$	$\varphi = 0,6$	$f = 30$	$i_g = 0,67$

Пояснення до таблиці:

1 В обґрунтованих випадках, з метою ліквідації обмежень швидкості в окремих кривих, у залежності від типу локомотива допустиме значення непогашених прискорень для прискорених поїздів з дозволу Укрзалізниці може бути збільшено до  $a_{\text{нп}}^{\text{прим,нас}} = 0,8 - 1,0 \text{ м/с}^2$ .

2 На напрямках з великою різницею між максимальними швидкостями пасажирських і вантажних поїздів при техніко-економічному обґрунтуванні та узгодженні з Укрзалізницею допустиме значення непогашених прискорень для вантажних поїздів може бути збільшено до  $a_{\text{нп}}^{\text{вант}} = \pm 0,4 \text{ м/с}^2$ .



## Додаток В

### Визначення підвищення зовнішньої рейки в кривих

Розрахункове підвищення зовнішньої рейки в кривих визначається в залежності від класифікації напрямку і структури поїздопотоків за формулами, наведеними у таблиці В.1 (ЦП – 0269).

Таблиця В.1 – Підвищення зовнішньої рейки в кривих залежно від характеру напрямку і типу поїздів

Характеристика напрямку		Максимальна швидкість, км/год	Розрахункова формула
І-П	Прискорений пасажирський рух, суміщені з прискореним рухом приміських поїздів	$141 \leq V_{\max .nac} \leq 160$ $V_{прим,приск} = 91 - 140$	$h = \frac{S_1}{g} \left( \frac{V_{\max}^2 .nac}{3,6^2 R} - a_{нт}^{дон} \right) \text{ (В.1),}$ $h_{\min} \text{ при } a_{нт}^{приск, nac}, \text{ формула (В.1)}$
І-ПС	Суміщені рух прискорених пасажирських з вантажними збірними і приміськими поїздами	$121 \leq V_{\max .nac} \leq 160$ $V_{прим,приск} = 91 - 140$ $V_{вант} = 71 - 90$	$h_{\min} \text{ при } a_{нт}^{приск, nac}, \text{ формула (В.1),}$ $h_{розр}^{сер.зв.} = 12,5 \frac{V_{сер.зв.}^2}{R} \pm \Delta h \text{ (В.2),}$ $h_{\max} \text{ при } a_{нт}^{вант}, \text{ формула (В.1),}$ $h_{рек} = h_{найбільше} \text{ з формул (В.1) і (В.2)}$

Пояснення до таблиці В.1.

У наведених формулах прийнято:

$V_{\max .nac}, V_{\max .вант}$  – максимальні швидкості в кривій відповідно пасажирського (прискореного) і вантажного руху поїздів, км/год;

$V_{сер.зв}$  – середньозважена швидкість поїздопотoku, км/год  
(розраховується за методикою, наведеною в правилах ЦП – 0236).

## Додаток Г

Розрахунок плану на спеціалізованих ділянках ВШМ та МТК

Вихідні дані:

- 1) швидкість руху поїзда –  $V = 350$  км/год;
- 2) підвищення зовнішньої рейки –  $h = 180$  мм;
- 3) непогашене прискорення –  $a = 0,4$  м/с<sup>2</sup>;
- 4) швидкість підйому колеса по рейці –  $f = 45$  мм/с;
- 5) швидкість зростання непогашеного прискорення –  $\varphi = 0,4$  м/с<sup>3</sup>;
- б) кут повороту кривої –  $\alpha = 50^\circ$ .

Визначимо радіус кривої при рівномірному завантаженні обох рейкових ниток:

$$R_1 = \frac{1,6 \cdot 350^2}{3,6^2 \cdot 9,81 \cdot 0,18} = 8564,6 \approx 8500 \text{ м.}$$

Визначимо радіус кривої за умови, що зовнішня рейка перевантажена на величину непогашеного прискорення  $a_n$ , за формулою

$$R_2 = \frac{1,6 \cdot 350^2}{3,6^2 (9,81 \cdot 0,18 + 1,6 \cdot 0,4)} = 6286,2 \approx 6300 \text{ м.}$$

Визначимо збільшення довжини лінії при  $R_2$ :

$$\Delta Z = 2 \cdot 0,41 \cdot 2200 + 6300 \cdot 0,87266 - 8500 \cdot 0,87266 = 115,85 \text{ м.}$$

Визначимо оптимальний радіус кривої. Для цього розрахуємо методом «золотого перерізу» радіуси варіантів, при яких потрібно протрасувати ділянку лінії.

Радіус першого варіанта  $R_{B1}$  буде

$$R_{B1} = 8500 - \frac{8500 - 6300}{\frac{1 + \sqrt{5}}{2}} = 7140 \text{ м.}$$

Радіус другого варіанта  $R_{B2}$  буде

$$R_{B2} = 6300 + \frac{8500 - 6300}{\frac{1 + \sqrt{5}}{2}} = 7660 \text{ м.}$$

Усі подальші розрахунки з визначення оптимального радіуса кривої виконуємо у таблиці Г.1.

Таблиця Г.1 – Визначення оптимального радіуса  $R_{opt}$

Інтервал невизначеності	Варіанти в інтервалі	Критерій оптимальності	Інтервал невизначеності, що залишився
6200 – 8500	$R_{B1} = 7140 \text{ м}$ $R_{B2} = 7660 \text{ м}$	$33,7 \cdot 10^9$ $31,6 \cdot 10^9$	7140 – 8500
7140 – 8500	$R_{B2} = 7660 \text{ м}$ $R_{B3} = 7980 \text{ м}$	$31,9 \cdot 10^9$ $32,7 \cdot 10^9$	7140 – 7980

Після визначення параметрів варіантів радіуса трасуємо їх і розраховуємо критерій оптимальності за програмами на ПК.

На основі отриманих даних креслимо залежність  $\mathcal{E}(R)$  і визначаємо оптимальний радіус.

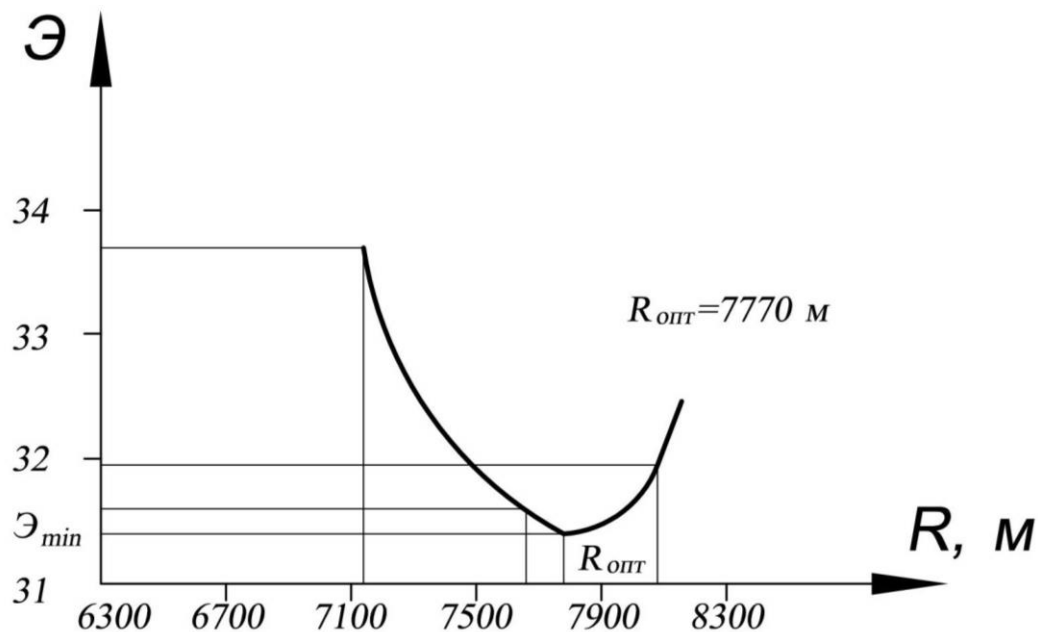


Рисунок Г.1 – Графоаналітичний вибір оптимального радіуса кривої

Приймаємо оптимальний радіус  $R_{opt} = 7800$  м.

Визначаємо ухил відводу зовнішньої рейки за швидкістю підйому колеса по рейці за формулою

$$i = \frac{3,6 \cdot 0,045}{350} = 0,00046 = 0,46 \text{ ‰}.$$

Визначаємо довжину перехідної кривої за цим показником за формулою

$$l = \frac{0,18}{0,00046} = 388,89 \text{ м}.$$

Приймаємо довжину перехідної кривої  $l = 390$  м.

Визначимо довжину перехідної кривої за умовами комфортабельності їзди пасажирів:

$$l_{нк} = \frac{350^3}{7800 \cdot 3,6^3 \cdot 0,4} - \frac{9,81 \cdot 0,18 \cdot 350}{3,6 \cdot 1,6 \cdot 0,4} = 26,3 \text{ м}.$$

У результаті розрахунків приймаємо радіус кривої  $R = 7800$  м, ухил відводу зовнішньої рейки  $i = 0,46 \text{ ‰}$  і довжину перехідної кривої  $l = 390$  м.

При цих параметрах фактичне непогашене прискорення буде:

$$a = \frac{350}{3,6^2 \cdot 7800} - \frac{9,81 \cdot 0,18}{1,6} = 0,108 < 0,4 \text{ м/с}^2,$$

а швидкість його зростання:

$$\varphi = \frac{0,108 \cdot 350}{3,6 \cdot 390} = 0,027 < 0,4 \text{ м/с}^3.$$

**Висновок:** розраховані параметри плану лінії на спеціалізованих ВШМ і МТК забезпечують безпеку, безперебійність, плавність руху і комфортабельність їзди.

## Додаток Д

Визначення параметрів плану при сумісному русі поїздів

Вихідні дані:

- 1) швидкість пасажирського поїзда –  $V_n = 180$  км/год;
- 2) середньозважена швидкість поїзда –  $V_c = 100$  км/год;
- 3) максимальна швидкість вантажного поїзда –  
 $V_{\max} = 120$  км/год;
- 4) мінімальна швидкість вантажного поїзда –  
 $V_{\min} = 80$  км/год;
- 5) непогашене прискорення –  $a_n = 0,7$  м/с<sup>2</sup>,  $a_{ван} = \pm 0,3$  м/с<sup>2</sup>;
- 6) швидкість зростання непогашеного прискорення –  
 $\varphi = 0,5$  м/с<sup>3</sup>;
- 7) швидкість підйому колеса по рейці –  $f = 36$  мм/с.

Визначаємо радіус кривої

$$R = \frac{1}{3,6^2 \cdot 0,7} (180^2 - 100^2) = 2464 \approx 2500 \text{ м.}$$

Підвищення зовнішньої рейки:

$$h = \frac{100^2 \cdot 12,5}{2500} = 50 \text{ мм.}$$

Визначаємо ухил відводу зовнішньої рейки:

$$i = \frac{3,6 \cdot 0,036}{180} = 0,00072 = 0,72 \text{ ‰.}$$

Визначаємо довжину перехідної кривої:

$$l = \frac{0,05}{0,00072} = 69,44 = 70 \text{ м.}$$

Визначаємо фактичне непогашене прискорення кожного поїзда:

$$a_n = \frac{180^2}{3,6^2 \cdot 2500} - \frac{9,81 \cdot 0,05}{1,6} = 0,69 \text{ м/с}^2 \leq a_n = 0,7 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{\text{ван. max}} = \frac{120^2}{3,6^2 \cdot 2500} - \frac{9,81 \cdot 0,05}{1,6} = 0,14 \text{ м/с}^2 \leq a_n = 0,3 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{\text{ван. min}} = \frac{80^2}{3,6^2 \cdot 2500} - \frac{9,81 \cdot 0,05}{1,6} = -0,11 \text{ м/с}^2 \leq a_n = -0,3 \text{ м/с}^2.$$

Визначаємо швидкість зростання непогашеного прискорення:

$$\varphi_n = \frac{0,69 \cdot 180}{3,6 \cdot 70} = 0,49 \text{ м/с}^3 \leq \varphi_n = 0,5 \text{ м/с}^3;$$

$$\varphi_{\text{ван. max}} = \frac{0,14 \cdot 120}{3,6 \cdot 70} = 0,067 \text{ м/с}^3 \leq \varphi_n = 0,5 \text{ м/с}^3;$$

$$\varphi_{\text{ван. min}} = \frac{-0,11 \cdot 80}{3,6 \cdot 70} = -0,035 \text{ м/с}^3 \leq \varphi_n = 0,5 \text{ м/с}^3.$$

Внаслідок розрахунків приймаємо радіус кривої  $R = 2500$  м, підвищення зовнішньої рейки  $h = 50$  мм, ухил відводу зовнішньої рейки  $i = 0,72\%$ , довжину перехідної кривої  $l = 70$  м.

## Додаток Е

Проектування плану на ділянках прискореного руху поїздів І-ПС  
згідно з ЦП – 0269

Вихідні дані:

- 1) швидкість пасажирського поїзда –  $V_n = 140$  км/год;
- 2) середньозважена швидкість поїзда –  $V_c = 101$  км/год;
- 3) швидкість вантажного поїзда –  $V_{ван} = 80$  км/год;
- 4) швидкість приміського поїзда –  $V_{пр} = 100$  км/год;
- 5) непогашене прискорення –  $a_{наа} = 0,7$  м/с<sup>2</sup>,  $a_{ван} = \pm 0,3$  м/с<sup>2</sup>;
- 6) швидкість зростання непогашеного прискорення –  $\varphi = 0,6$  м/с<sup>3</sup>;
- 7) швидкість підйому колеса по рейці –  $f = 30$  мм/с;
- 8) ухил відводу зовнішньої рейки –  $i = 0,67$  ‰

Радіус кривої має бути:

$$R = \frac{1}{3,6^2 \cdot 0,7} (140^2 - 101^2) = 1036 \approx 1050 \text{ м.}$$

Підвищення зовнішньої рейки:

$$h_{\min} = \frac{1,6}{9,81} \left( \frac{140^2}{3,6^2 \cdot 1050} - 0,7 \right) = 120,7 \approx 125 \text{ мм.}$$

Довжина перехідної кривої за формулою

$$l = \frac{0,125}{0,00067} = 186,57 \approx 190 \text{ м.}$$

Визначаємо фактичне непогашене прискорення кожного поїзда:

$$a_n = \frac{140^2}{3,6^2 \cdot 1050} - \frac{9,81 \cdot 0,125}{1,6} = 0,674 \text{ м/с}^2 \leq a_n = 0,7 \text{ м/с}^2;$$



$$a_{ван} = \frac{80^2}{3,6^2 \cdot 1050} - \frac{9,81 \cdot 0,125}{1,6} = -0,296 \text{ м/с}^2 \leq a_n = -0,3 \text{ м/с}^2.$$

Визначаємо швидкість зростання непогашеного прискорення:

$$\varphi_n = \frac{0,674 \cdot 140}{3,6 \cdot 90} = 0,14 \text{ м/с}^3 \leq \varphi_n = 0,6 \text{ м/с}^3;$$

$$\varphi_{ван} = \frac{-0,296 \cdot 80}{3,6 \cdot 90} = -0,035 \text{ м/с}^3 \leq \varphi_n = 0,6 \text{ м/с}^3.$$

Унаслідок розрахунків приймаємо радіус кривої не менше  $R = 1050$  м, підвищення зовнішньої рейки  $h = 125$  мм і довжину перехідної кривої  $l = 190$  м.



