

**Элементы плана линии.
Круговые и переходные
кривые.
Смежные кривые.**

План лекции

- 1. Элементы и характеристики плана.
- 2. Недостатки железнодорожных кривых.
- 3. Связь между скоростью движения и радиусом кривой.
- 4. Переходные кривые.
- 5. Смежные кривые.

1. Элементы и характеристики плана.

- **Трасса** – пространственная кривая, отражающая положение оси железнодорожного пути на уровне **бровок земляного полотна**.
- **План** – проекция трассы на горизонтальную плоскость.
- **Элементы плана:**
 - - прямые участки;
 - - круговые кривые;
 - - переходные кривые.
- **Уникальные примеры** прямых участков:

1. Элементы и характеристики плана.

- Австралия ~ 530 км.
- Аргентина ~ 330 км.
- Россия: Карбышево – Иртышское – 95 км.
- Москва – С.-Петербург – 28 км.
- **Доля кривых участков** в общей длине железной дороги:
 - Карбышево – Иртышское – 2 %;
 - горные участки БАМ, Южного Урала ~ 50 %.

1. Элементы и характеристики плана.

Круговые кривые

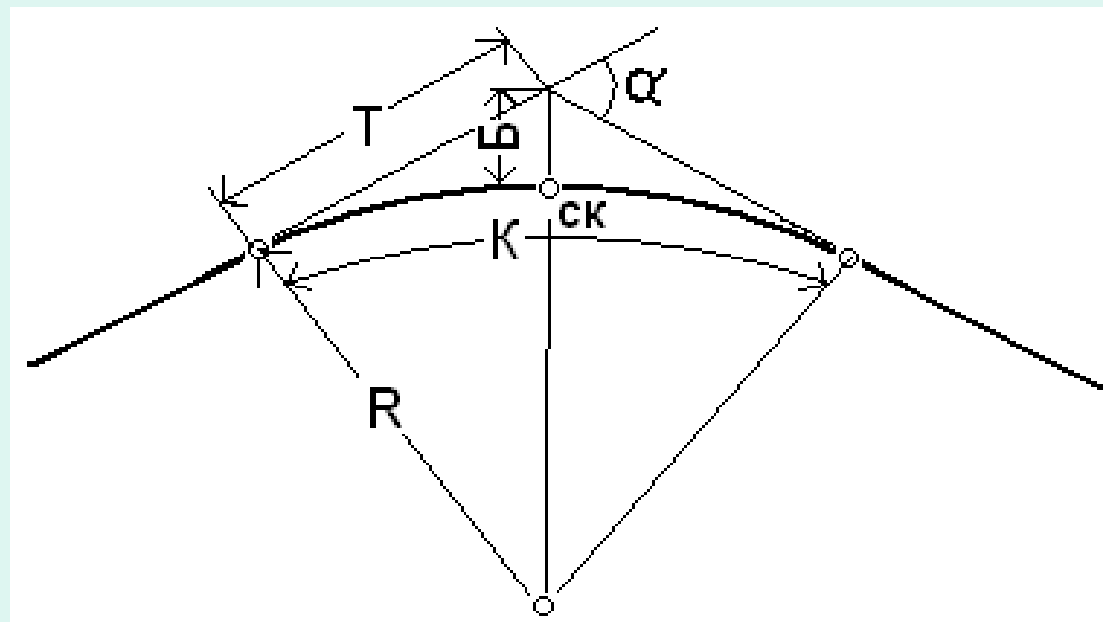
характеризуются:

- а) **основные** характеристики:
 - - угол поворота α , град;
 - - радиус R , м;
 - - направление поворота.
- б) **производные** характеристики:
 - - тангенс круговой кривой T , м;
 - - длина круговой кривой K , м;
 - - биссектриса B , м;
 - - домер D , м.

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad K = \frac{\pi R \alpha}{180}$$

$$B = \sqrt{T^2 + R^2} - R$$

$$D = 2T - K$$



2. Недостатки железнодорожных кривых

1. **ограничение скорости** движения поездов;
2. **повышенная повреждаемость и износ** рельсов;
3. **увеличение расходов** по текущему содержанию и ремонту ВСП;
4. **повышенный износ** колес подвижного состава;
5. **уменьшение коэффициента сцепления** колес локомотива с рельсами;
6. **удлинение** линии;
7. **необходимость усиления** контактной сети и ВСП.

Повышенная повреждаемость и износ рельсов; увеличение расходов по текущему содержанию и ремонту ВСП;

Участок	Частота смены рельсов из-за износа	Одиночный выход рельсов	Расходы по текущему содержанию пути
Прямая	1,0	1,0	1,0
R = 600 м	1,7	3,0	1,25
R = 500 м	2,0	3,8	1,4
R = 400 м	2,5	7,0	1,6
R = 300 м	3,5	20,0	2,0

Повышенный износ колес подвижного состава

- $C_{\text{изн.кол.}} \approx 0,5C_{\text{изн.р.}}$

Уменьшение коэффициента сцепления колес локомотива с рельсами

- Связь между **касательной силой тяги** в кривой и на прямой:

$$F_K^{кр} = F_K^{пр} k_{сц}$$

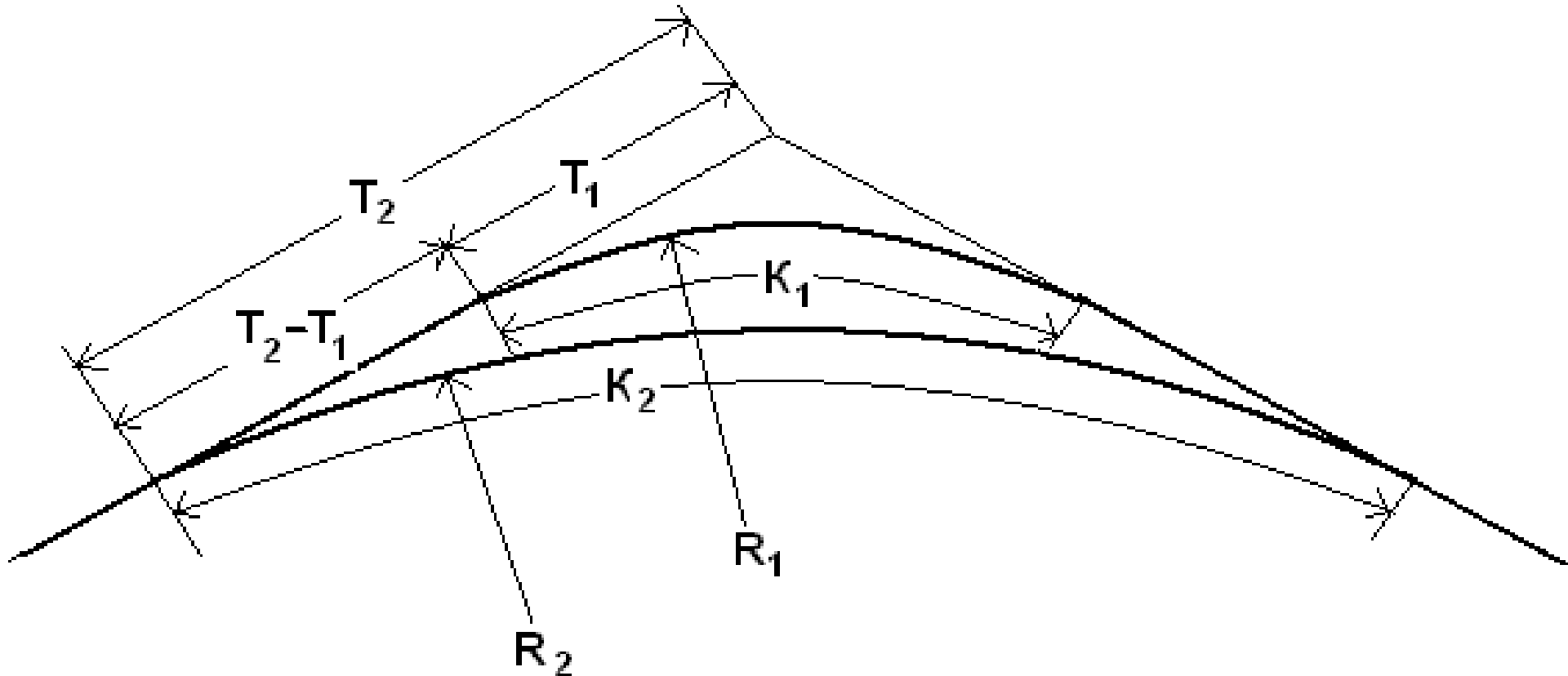
- $k_{сц}$ – коэффициент уменьшения сцепления
- при электрической тяге
- при тепловозной тяге

$$k_{сц} = \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,1R}$$

$$k_{сц} = \frac{3,5R}{400 + 3R}$$

Радиус кривой R, м	Коэффициент уменьшения сцепления $k_{сц}$	
	электрическая тяга	тепловозная тяга
Прямая и R >1200	1,0	1,0
500	0,98	0,92
400	0,92	0,875
300	0,86	0,81

Удлинение линии при уменьшении радиуса



- $\Delta L = [(T_2 - T_1) + K_1 + (T_2 - T_1)] - K_2 =$
- $2(T_2 - T_1) + K_1 - K_2 = (2T_2 - K_2) - (2T_1 - K_1) =$
- $= D_2 - D_1$

Усиление верхнего строения пути (ВСП) и контактной сети (КС)

- **1. Усиление эюры шпал.**
- На прямых и в кривых $R \geq 1200$ м эюра шпал на магистральных линиях 1840 шт/км. В кривых $R < 1200$ м эюра шпал 2000 шт/км.
- **2. Уширение плеча балластной призмы.**
- В кривых $R \leq 600$ м плечо балластной призмы увеличивается на 10 см.
- **3. Увеличение числа опор контактной сети.**
- В кривой $R = 500$ м число опор КС на 30 – 40 % больше, чем в кривой $R = 1200$ м. Но кривая $R = 500$ м в 2,4 раза короче, чем кривая $R = 1200$ м.

3. Связь между скоростью движения поезда и радиусом кривой

Скорость поезда в кривой определяется с учетом **возвышения наружного рельса**.

$$h_{nr} = k \frac{12,5v_{cp.vzv.}^2}{R}$$

- $k = 1,0$ при v до 140 км/ч, $k = 1,2$ при $v > 140$ км/ч
- Средневзвешенная скорость $V_{cp.vzv.}$ учитывает скорости поездов различных категорий

$$V_{cp.vzv.} = \sqrt{\sum_1^n \alpha_i v_i^2}$$

- Поезда, двигающиеся со скоростями более **$V_{cp.vzv.}$** , будут испытывать недостаток возвышения наружного рельса, или иначе – на наружный рельс будет передаваться большее давление, чем на внутренний.

Возвышение наружного рельса при пропуске поезда с максимальной скоростью

$$h_{np} = \frac{12,5v_{\max}^2}{R} - \Delta h$$

- Δh – недостаток возвышения, который может быть допущен по величине **допускаемого непогашенного ускорения**.
- Из выражения для h_{np} имеем:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{h_{np} + \Delta h}{12,5} R} = \sqrt{kv_{\text{ср.взв.}}^2 + \frac{\Delta h}{12,5} R}$$

- Недостаток возвышения наружного рельса

$$\Delta h = \frac{a_{\text{неп}} S}{g}$$

- $a_{\text{неп}}$ – допускаемая величина непогашенного ускорения, м/с²
- S – расстояние между осями рельсов, мм

Допустимые скорости движения поездов при различных значениях непогашенного ускорения

при $a_{неп} =$	$0,7 \text{ м/с}^2$	$0,6 \text{ м/с}^2$	$0,4 \text{ м/с}^2$
$\Delta h =$	114 мм	98 мм	65 мм
$v_{max} =$	до 160 км/ч	до 200 км/ч	$> 200 \text{ км/ч}$

Для пассажирских поездов $h_{нр \text{ max}} = 150 \text{ мм}$. Тогда
из

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{h_{нр} + \Delta h}{12,5} R} = \sqrt{kv_{\text{ср.взв.}}^2 + \frac{\Delta h}{12,5} R}$$

имеем, обозначив

$$\sqrt{\frac{h_{нр} + \Delta h}{12,5}} = A$$

$$v_{\max} = A\sqrt{R}$$

При $h_{нр\ max} = 150$ мм и

- $\Delta h =$ 114 мм 98 мм 65 мм
- $A =$ 4,6 4,45 4,15

• **Пример:**

- $R = 1600$ м

- $A =$ 4,6 4,45 4,15

- $V_{max} =$ 184 км/ч 178 км/ч 166 км/ч

• Повышение скоростей возможно только за счет увеличения радиуса кривой

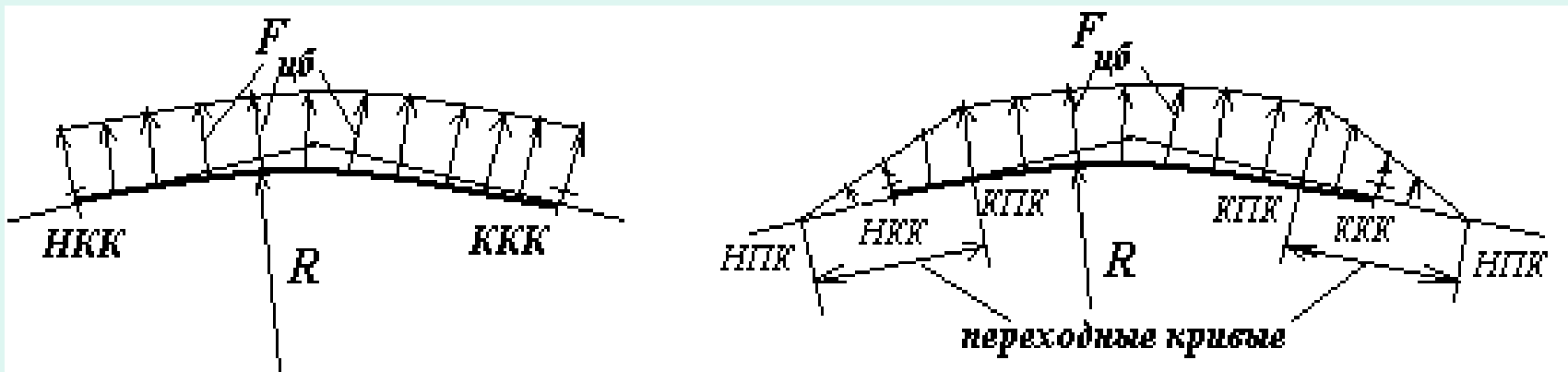
• **Пример:**

- $R = 2500$ м, $A =$ 4,6 4,45 4,15

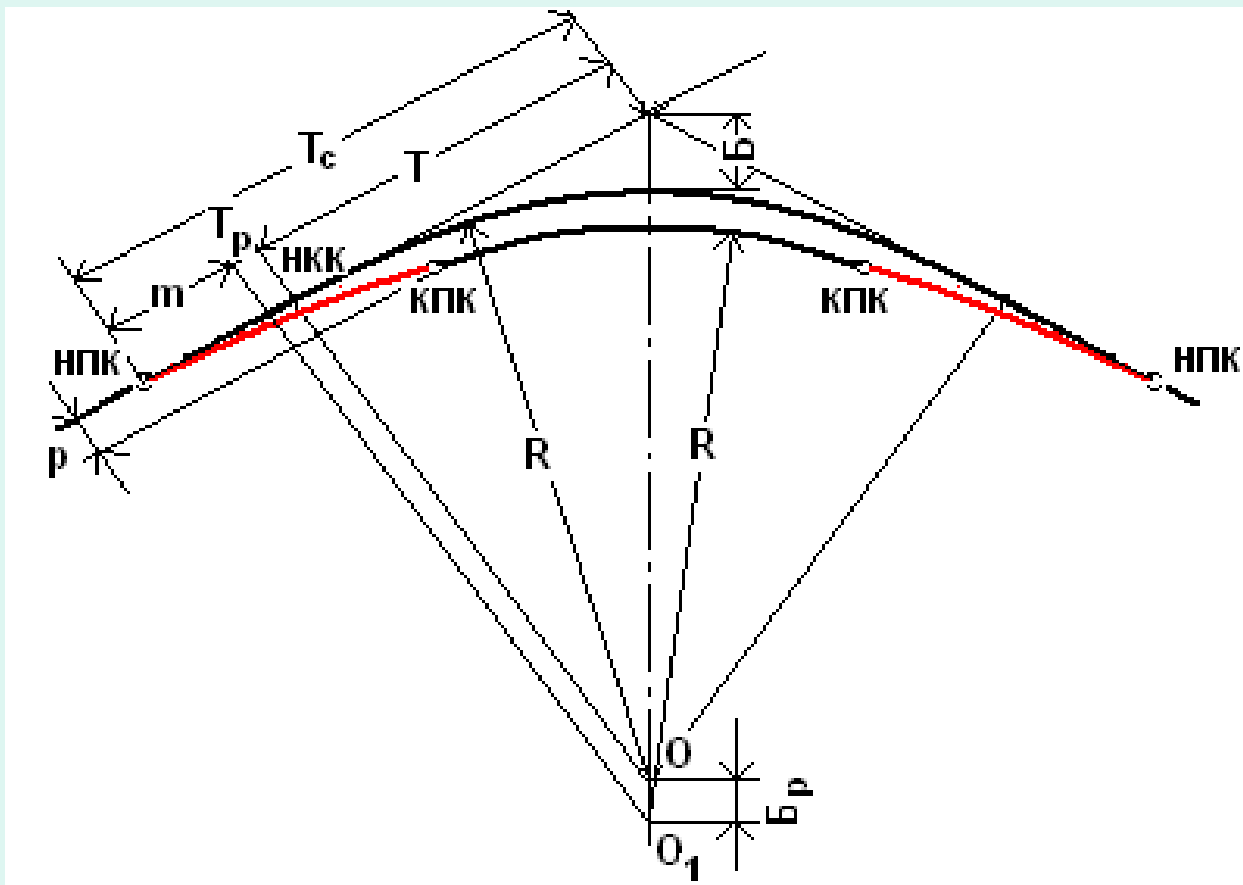
- $V_{max} =$ 230 км/ч 222 км/ч 207 км/ч

4 Переходные кривые

- При входе подвижного состава в кривую уже первая колесная пара создаст боковое воздействие на наружный рельс. Даже при незначительных скоростях это воздействие носит ударный характер.
- Для исключения ударных воздействий между прямыми и кривыми участками железнодорожного пути устраиваются специальные переходные участки, носящие название **переходных** кривых.



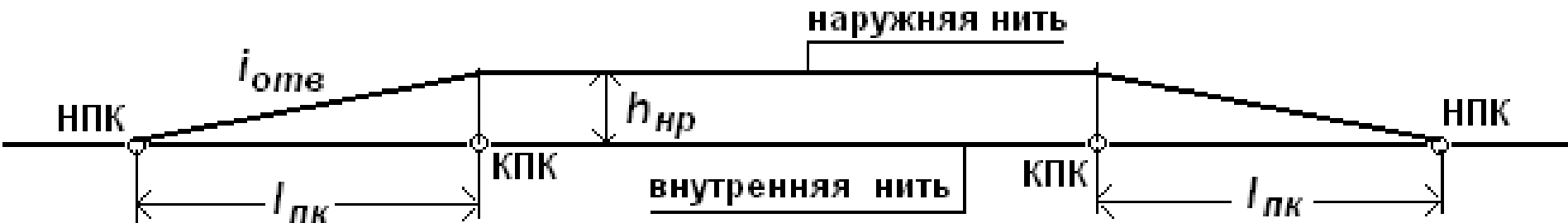
Переходные кривые (продолжение)



$$B_p = p \sec \frac{\alpha}{2} = \frac{p}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$p = \frac{l_{нк}^2}{24R} \left(1 - \frac{l_{нк}^2}{112R^2} + \frac{l_{нк}^4}{21120R^4} - \dots \right)$$

Длина переходной кривой



- **Длина** переходной кривой определяется рядом требований, важнейшим из которых является **ограничение скорости вертикального подъема** колеса на возвышение наружной рельсовой нити.
- Скорость подъема определяется уклоном $i_{отв}$ отвода возвышения наружного рельса

$$i_{отв} = \frac{dh}{ds} = \frac{dh}{v dt} = \frac{dh}{dt} \frac{1}{v} \quad i_{отв} [\text{‰}] \quad v [\text{км/ч}] \quad h [\text{мм}]$$

$$i_{отв} = 10^{-3} \cdot 3,6 \frac{dh}{dt} \frac{1}{v}$$

Обоснование величины уклона отвода возвышения

$$\frac{dh}{dt} = 28 \div 35 \text{ мм/с}$$

$$\frac{dh}{dt} = 28 \text{ мм/с} \quad i = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot \frac{1}{v_{\text{пасс}}} \approx \frac{1}{10} \frac{1}{v_{\text{пасс}}}$$

При $v_{\text{пасс}} = 100 \text{ км/ч}$ $i = 0,001 = 1\text{‰}$

Отсюда простое правило определения длины переходной кривой:

При уклоне отвода возвышения 1‰ длина переходной кривой в метрах численно равна возвышению наружного рельса в миллиметрах.

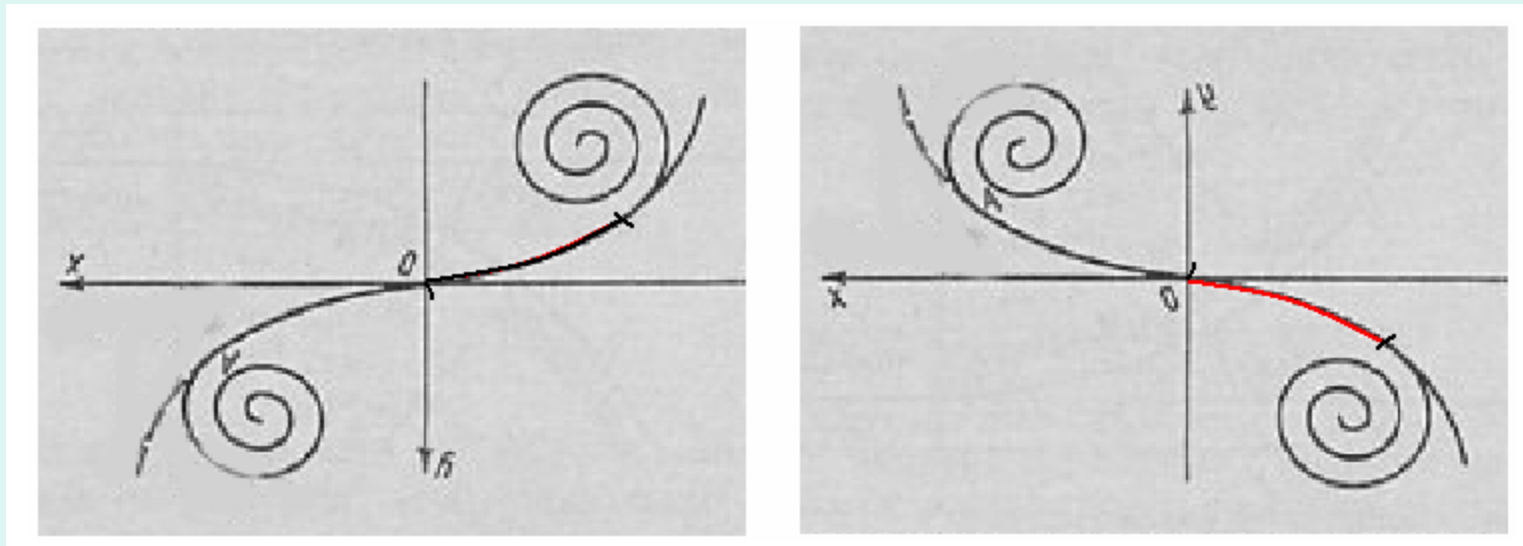
Форма переходной кривой

- На железных дорогах России в качестве переходной кривой применяется **радиоидальная спираль** (клотоида).

- Уравнение клотоиды:

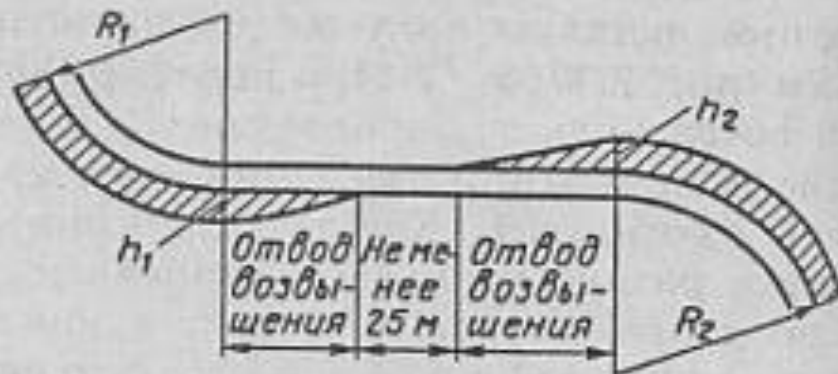
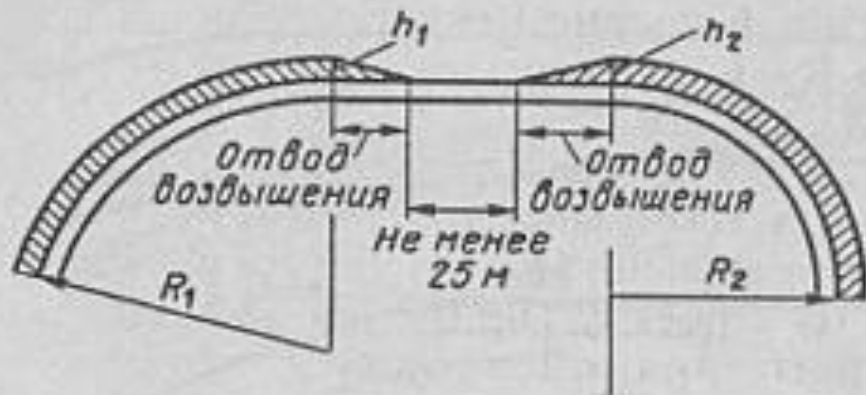
$$y = \frac{x^3}{6C} \left(1 + \frac{2}{35} \frac{x^4}{C^2} + \frac{293}{237000} \frac{x^8}{C^4} + \dots \right)$$

- $C = Rl_{нк}$ - параметр переходной кривой



5 Смежные кривые.

Смежными называют две кривые, расположенные близко друг от друга, когда динамические условия движения экипажа в одной кривой оказывают влияние на динамические условия движения в другой. Между кривыми должна устраиваться **прямая вставка** такой длины, при которой экипаж успевает погасить динамические воздействия, вызванные первой кривой.



Длина прямых вставок. Требования норм проектирования

Категория железной дороги	Длина прямой вставки между <i>начальными точками переходных</i> кривых, м			
	в нормальных условиях между кривыми, направленными		в трудных условиях между кривыми, направленными	
	в разные стороны	в одну сторону	в разные стороны	в одну сторону
Скоростные	150	150	100	100
Особо-грузонапряженные	75	100	50	50
I и II	150	150	50	75
III	75	100	50	50
IV	50	50	30	30