

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРИВЫХ В ПЛАНЕ

- 3.1 Особенности движения автомобиля по кривой в плане
- 3.2 Назначение радиуса кривой в плане, исходя из обеспечения ночной видимости
- 3.3 Назначение длины переходных кривых
- 3.4 Уширение проезжей части на кривых в плане
- 3.5 Проектирование виражей

3.1 Особенности движения автомобиля по кривой в плане

При проектировании кривых в плане должно быть обеспечено удобство и безопасность движения автомобиля с расчетной скоростью. Удобство обеспечивается плавностью движения, а безопасность – достаточной видимостью и исключением возможности заноса.

При движении автомобиля по кривым в плане малых радиусов на него действуют отрицательные факторы:

- увеличивается расход топлива;
- повышается износ шин;
- сокращается расстояние видимости;
- возникает опасность заноса.

Эти факторы проявляются тем сильнее, чем меньше радиус кривой в плане.

На автомобиль, движущийся по криволинейному участку дороги, действует центробежная сила C , направленная перпендикулярно направлению движения автомобиля от центра окружности.

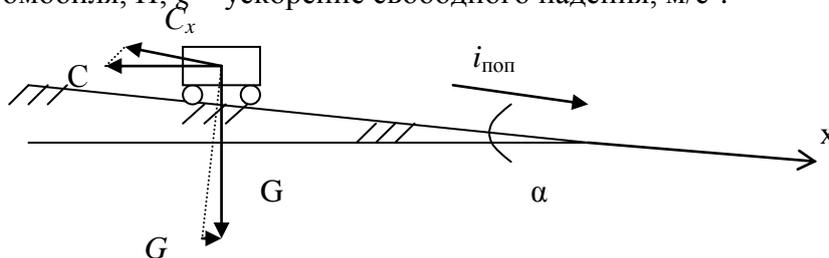
$$C = m \frac{v^2}{R}, \quad (3.1)$$

где m – масса автомобиля, кг; v – скорость автомобиля, м/с; R – радиус кривой, м.

Или

$$C = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R}, \quad (3.2)$$

где G – вес автомобиля, Н; g – ускорение свободного падения, м/с².



Спроектируем силы \vec{C} , \vec{G} на плоскость проезжей части и сложим проекции:

$$Y = C_x - G_x.$$

Проекции $C_x = C \cdot \cos \alpha$, $G_x = G \cdot \sin \alpha$, то

$$Y = C \cdot \cos \alpha - G \cdot \sin \alpha . \quad (3.3)$$

Знак «-» применяют при односкатном профиле (вираже). Знак «+» – на двускатном профиле.

$$Y = C_x + G_x$$

Тогда в общем случае

$$Y = C \cdot \cos \alpha \pm G \cdot \sin \alpha \quad (3.4)$$

При малых углах α (не более 10°):

$$\cos \alpha \approx 1; \sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx i_{non}$$

Тогда подставим последовательно данные приближения и (3.2) в (3.4).

$$Y = C \pm G \cdot i_{non} = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \pm G \cdot i_{non}$$

1. Разделим данное выражение на G и получим зависимость:

$$\frac{Y}{G} = \frac{v^2}{g \cdot R} \pm i_{non}.$$

Левая часть называется *коэффициентом поперечной силы*. Введем обозначение:

$$\mu = \frac{Y}{G}$$

Тогда

$$\mu = \frac{v^2}{g \cdot R} \pm i_{non} \quad (3.5)$$

Коэффициент μ учитывает влияние на автомобиль и на пассажиров центробежной силы.

$$\mu = \begin{cases} 0,1 - \text{движение по кривой пассажирами не ощущается;} \\ 0,15 - \text{ощущается слабо;} \\ 0,2 - \text{ощущается сильно, возникают неудобства;} \\ 0,3 - \text{ощущается как толчок, наклоняющий пассажиров в бок.} \end{cases}$$

Таблица 3.1 – Значения коэффициентов поперечной силы в зависимости от скорости движения

Расчетная скорость, км/ч	150	120	100	80	60	40
Коэффициент поперечной силы	0,08	0,09	0,12	0,14	0,17	0,23

Задаваясь значением μ , можно из (3.5) определить минимальный радиус:

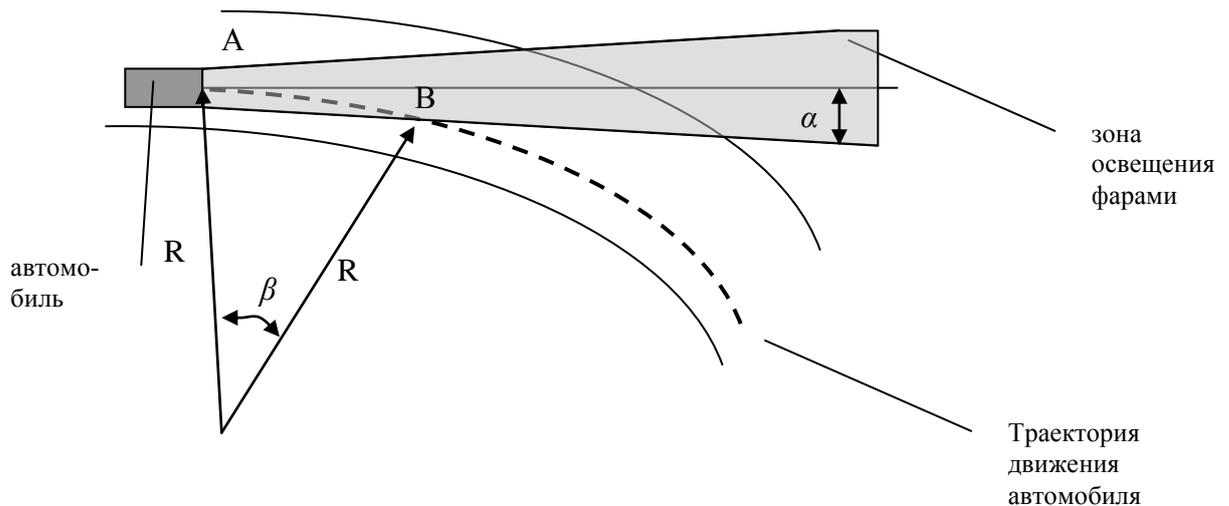
$$R_{\min} = \frac{v^2}{g(\mu \pm i_{non})} \quad (3.6)$$

Рекомендуемый радиус кривых в плане – это радиус, обеспечивающий удобное и безопасное движение автомобиля по кривой с расчетной скоростью при отсутствии виража. При $R > 3000$ м условия движения аналогичны условиям движения по прямому участку.

Наименьший радиус кривой в плане – это радиус, при котором обеспечивается безопасное движение автомобиля с расчетной скоростью при чистом и увлажненном покрытии, с устройством виражей и уширении проезжей части.

3.2 Назначение радиуса кривой в плане, исходя из обеспечения ночной видимости

Ночью интенсивность движения примерно в 10 раз меньше чем днем, однако, половина ДТП приходится на этот период суток. Значение радиуса R , при котором видимость дороги на кривой будет соответствовать расчетному значению видимости S , может быть найдено из следующих соображений.



Длина дуги $AB = S$.

Угол, стягивающий дугу AB ,

$$\beta = \frac{180S}{\pi \cdot R}.$$

Отсюда

$$R = \frac{180S}{\pi \cdot \beta}. \quad (3.7)$$

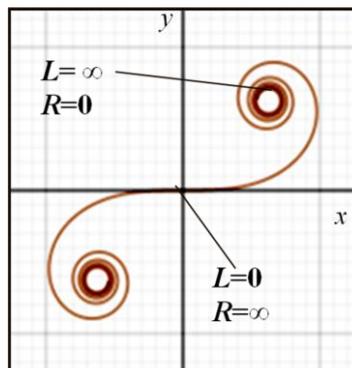
Из геометрических соображений следует, что $\beta = 2\alpha$. Подставляя его в (3.7), получим:

$$R = \frac{180S}{3,14\beta} = \frac{180}{3,14 \cdot 2 \cdot \alpha} \approx \frac{30S}{\alpha}.$$

$$R \approx \frac{30S}{\alpha}. \quad (3.8)$$

Угол раствора пучка света для современных фар $\alpha \approx 2^\circ$. Современные фары дальнего света обеспечивают видимость на расстоянии $175 \div 200$ м. Тогда радиус кривых, при которых свет фар освещает проезжую часть на расстоянии видимости ($100 \div 300$ м), составляет $1500 \div 4500$ м.

3.3 Назначение длины переходных кривых



Чтобы изменение условий движения при переходе с прямой на кривую происходило не слишком быстро, вводят переходную кривую, в пределах которой кривизна оси дороги плавно изменяется от 0 до $1/R$. В качестве переходных кривых используют клотоиду, кубическую параболу, лемнискату Бернулли. Наиболее часто используют *клотоиду*, уравнение которой

$$RL = \text{const.}$$

У клотоиды радиус возрастает обратно пропорционально ее длине.

Уравнение клотоиды в прямоугольной системе координат:

$$x = L - \frac{L^5}{40C^2} + \frac{L^9}{3456C^4} + \dots$$

$$y = \frac{L^3}{6C} - \frac{L^7}{336C^3} + \frac{L^{11}}{42240C^5} + \dots$$

Ряды для x и y , быстро сходятся, поэтому при составлении таблиц обычно пользуются двумя первыми членами ряда.

Длину переходной кривой назначают исходя из условия, чтобы центробежная сила нарастала во время проезда кривой достаточно замедленно, не вызывая неприятных ощущений у пассажиров. В нашей стране скорость нарастания центробежного ускорения J принимают равной $J=0,5 \div 0,8$ м/с³ (не более 1, 2 м/с³, СП 34.13330.2012). Обозначим продолжительность проезда по переходной кривой, в течение которой центробежное ускорение возрастает от $a = 0$ до

$$a = \frac{v^2}{R}, \quad (3.9)$$

как t . Тогда можно записать, что

$$a = Jt. \quad (3.10)$$

Приравняв выражения (3.9) и (3.10), получим, что $\frac{v^2}{R} = Jt$. Отсюда следует, что $t = \frac{v^2}{JR}$.

Необходимая длина переходной кривой при проезде по ней с расчетной скоростью движения:

$$L = vt = v \frac{v^2}{JR} = \frac{v^3}{JR}, \quad [\text{м/с}].$$

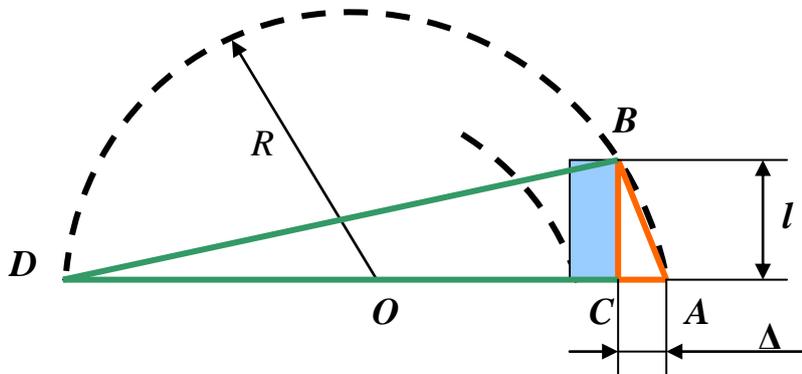
Переводя скорость в км/ч, получим выражение:

$$L = \frac{v^3}{47JR}, \quad [\text{км/ч}]. \quad (3.11)$$

Переходные кривые устраивают на дорогах всех категорий на кривых с радиусами не превышающими 2000 м. Приводимые в СП 34.13330.2012 длины переходных кривых следует рас-

считать как минимально допустимые. Нормативную длину переходных кривых целесообразно увеличивать в 1,5-2 раза, поскольку это придает трассе большую зрительную плавность.

3.4 Уширение проезжей части на кривых в плане



При движении автомобиля по кривой каждое колесо движется по своей траектории, в результате чего автомобиль занимает большую ширину проезжей части, чем при движении по прямому участку дороги. В связи с этим, необходимо выполнить уширение проезжей части дороги. Оно определяется из чисто геометрических построений.

Из подобия треугольников BCD и ABC следует:

$$\frac{|AC|}{|BC|} = \frac{|BC|}{|DC|}.$$

При этом знаем, что $|DC| = 2R - |AC|$. Подставляя Δ и l в пропорцию, получим:

$$\frac{\Delta}{l} = \frac{l}{2R - \Delta}. \quad \text{Отсюда следует} \quad \Delta(2R - \Delta) = l^2.$$

Величина $\Delta \ll 2R$, поэтому ею можно пренебречь. И тогда: $\Delta 2R = l^2$ отсюда $\Delta = \frac{l^2}{2R}$.

Эта формула, полученная из чисто геометрических соображений, справедлива лишь при небольших скоростях движения. При больших скоростях движения уширение рекомендуется принимать большим, учитывая влияние скорости движения. Тогда

$$\Delta = \frac{l^2}{2R} + \frac{0,05v}{\sqrt{R}}. \quad (3.12)$$

Более сложным является определение уширения для дорог со значительным движением автопоездов, у которых ширина полосы возрастает с числом прицепов.

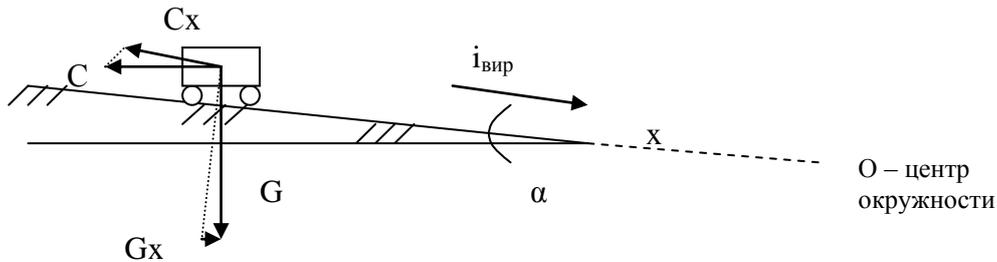
Предусматривают уширение проезжей части дорог с двумя полосами движения на кривых с радиусами, не превышающими 1000 м. При $R=1000$ м $\Delta=40$ см. При меньших значениях радиусов величина уширения увеличивается до 1,1-1,3 м. Для автопоездов уширение может достигать 3 м, на серпантинах – 3,5 м.

Проезжую часть уширяют с внутренней стороны кривой за счет обочины. Остающаяся часть обочины должна быть не менее 1,5 м на дорогах I и II категории и не менее 1,0 м – на дорогах III-V категории. При недостаточной ширине обочин уширяют земляное полотно.

В пределах кривой уширение имеет постоянный размер, а затем постепенно уменьшается на протяжении переходных кривых.

3.5 Проектирование виражей

Для уменьшения действия центробежной силы при движении автомобиля по кривой необходимо сместить центр тяжести автомобиля в сторону действия центробежной силы. При этом, составляющая веса автомобиля будет противодействовать центробежной силе (т.е. необходимо наклонить автомобиль). Это возможно при односкатном поперечном профиле, называемом виражом.



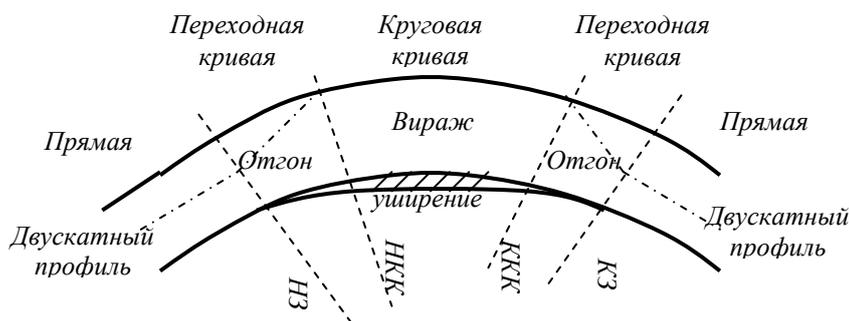
Здесь \vec{C} – центробежная сила, \vec{G} – вес автомобиля, C_x – проекция центробежной силы, G_x – проекция веса автомобиля на плоскость дороги. Они направлены в разные стороны: $C_x - G_x$.

На вираж, в зависимости от уклона виража $i_{вир} = i_{пол}$, можно передать 1/3-1/4 действующей на автомобиль центробежной силы. При этом повышается устойчивость автомобиля, безопасность движения. Водитель уверенно управляет автомобилем без снижения скорости.

В настоящее время в нашей стране виражи устраивают на всех кривых с $R \leq 3000$ м на дорогах I категории и $R \leq 2000$ м – на дорогах остальных категорий.

Основными элементами виража являются:

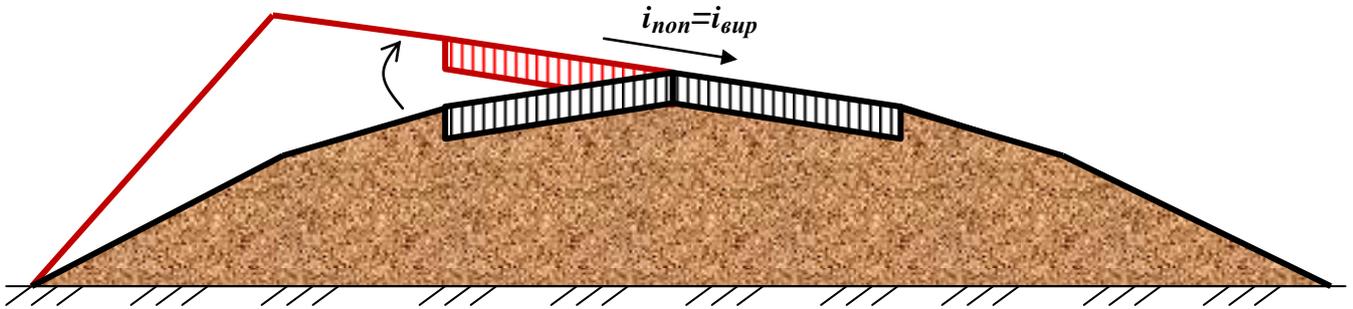
- поперечный уклон односкатного профиля (*уклон виража*) $i_{вир}$;
- длина *отгона виража* $L_{отг}$ – участок, на котором происходит переход от двухскатного профиля к односкатному, и наоборот.
- протяженность участка с *односкатным профилем* (собственно вираж).



Отгон виража устраивают на протяжении переходной кривой.

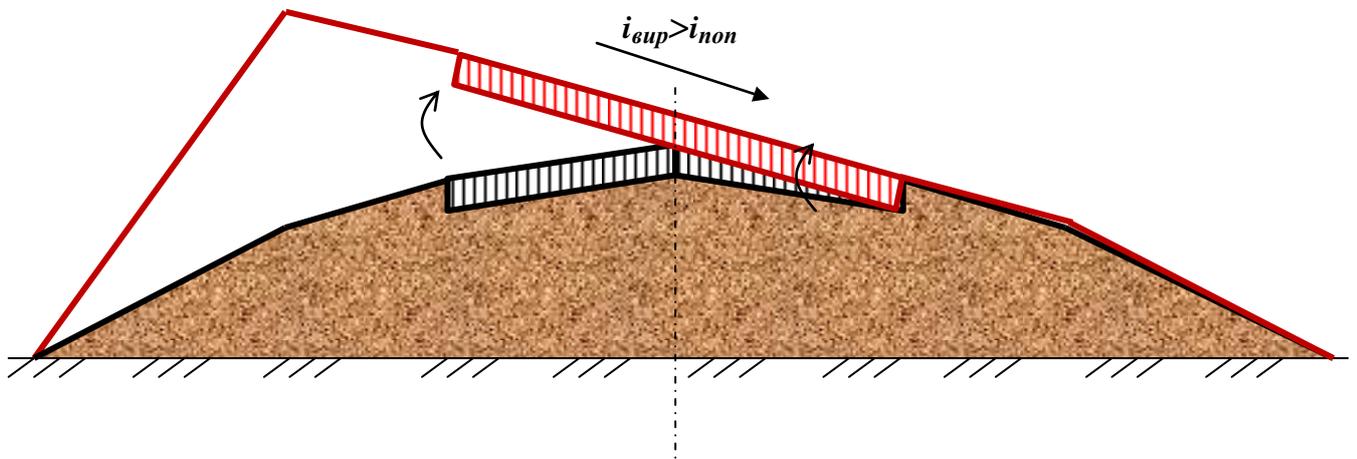
Виды виражей

1. Уклон виража равен поперечному уклону проезжей части $i_{non}=i_{вир}$. Для перехода к односкатному профилю постепенно поворачивают внешнюю половину проезжей части и обочину вокруг оси дороги.

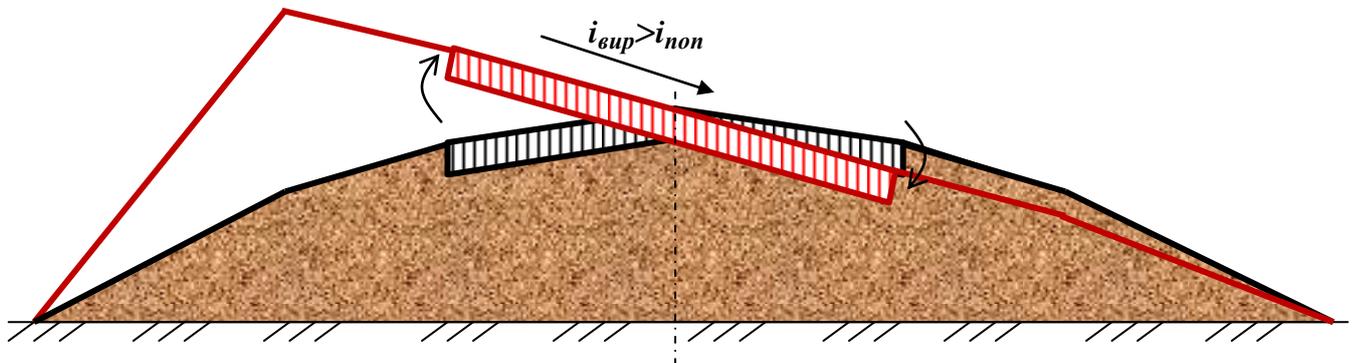


2. Уклон виража больше поперечного уклона проезжей части $i_{вир} > i_{non}$.

2.1. Поворот внутренней половины проезжей части вокруг внутренней кромки покрытия, а внешней половины проезжей части – вокруг оси дороги.



2.2. Поворот вокруг оси, при этом внешняя половина поднимается, а внутренняя опускается.



Поперечный уклон проезжей части на вираже задают из условия (3.5).

$$i_{\text{вир}} = \frac{v^2}{gR} - \mu,$$

где v – скорость движения автомобиля [м/с], g – ускорение свободного падения [м/с²], R – заданный радиус кривой в плане [м], μ – коэффициент поперечной силы.

Поперечный уклон проезжей части на виражах назначают в зависимости от значений радиусов кривых в плане (см. таблицу 3.2).

Таблица 3.2 – Назначение уклонов виража

Радиус R , м	Уклон виража, ‰	Условие
$1000 \leq R < 3000$	20	Минимальный уклон виража
$600 \leq R < 1000$	$20 < i_{\text{вир}} \leq 40$	В районах с сильным гололедом
	$20 < i_{\text{вир}} \leq 60$	В остальных случаях
$R < 600$	40	В районах с сильным гололедом
	60	В остальных случаях

Уклон обочин на виражах принимают равным уклону проезжей части, предусматривая их укрепление.

Алгоритм расчета виражей приведен в разделе «Курсовое проектирование», п. 8.1.

Литература

1. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
3. Жуков В.И., Гавриленко Т.В. Проектирование автомобильных дорог. Основы: учебное пособие. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2014. – 144 с. (в печати).