



# Курс «Транспортная инфраструктура»

---

## Автомобильные дороги и городские улицы

Лекция 5

Пектор

Александр Иванович Солодкий



# Проектирование автомобильных дорог



# Проектирование автомобильных дорог

## Проектирование виража

Устойчивость автомобиля при движении по кривой на внешней полосе движения снижается, так как составляющая веса автомобиля, параллельно поперечному уклону дороги складывается с соответствующей проекцией центробежной силы. Для улучшения условий движения на внешней полосе проезжей части, ей придается, как и внутренней стороне, уклон в сторону к центру кривой.

Односкатный поперечный профиль с уклоном проезжей части к центру кривой называют виражом. Вираж повышает безопасность движения на кривых малого радиуса.

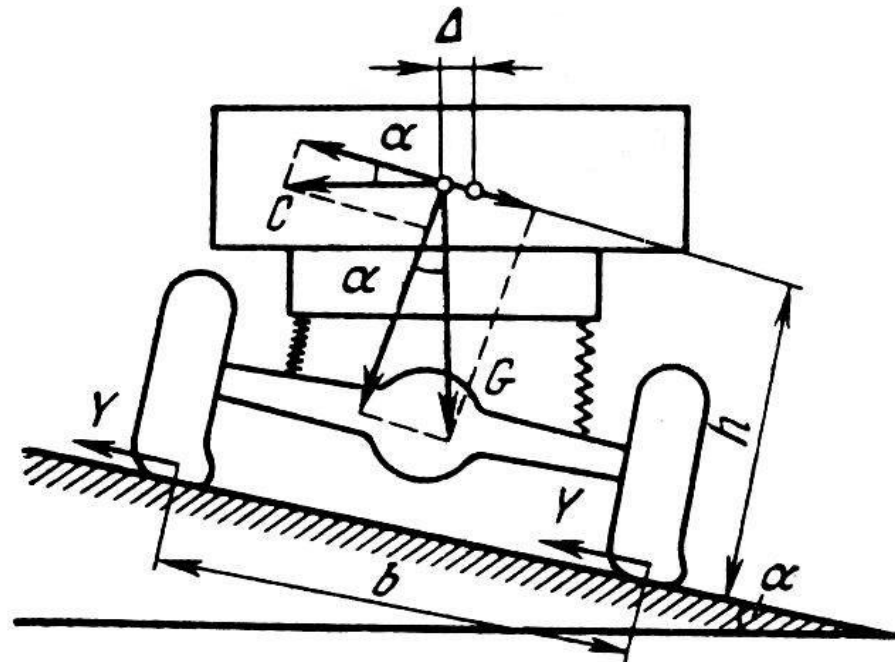
Вираж оказывает и чисто психологическое значение на водителей, произвольно снижающих скорость на кривых с радиусами 600 м и более, хотя по расчетам в пределах таких кривых возможно движение с расчетными скоростями.

По СП вираж устраивают на кривых с  $R < 3000$  м на дорогах I категории и  $R < 2000$  м для дорог остальных категорий.



# Проектирование автомобильных дорог

На автомобиль при движении на кривой действуют две силы: вес автомобиля  $G$ , направленный вертикально и центробежная сила  $C$ , направленная горизонтально во внешнюю сторону кривой.



Силы, действующие на автомобиль при движении по кривой в плане



# Проектирование автомобильных дорог

Радиус кривой в плане при устройстве виража равен

$$R = \frac{v^2}{g(\mu + i_{\varepsilon})}$$

Откуда уклон виража

$$i_{\varepsilon} = \frac{v^2}{gR} - \mu$$

или  $i_{\varepsilon} = \frac{v^2}{127R} - \mu$  при подстановке  $V$  в км/ч.

Если уклон виража по расчету окажется меньше поперечного уклона проезжей части двухскатного профиля или отрицательным, вираж можно не устраивать. Однако в целях повышения безопасности движения, учитывая психологическое воздействие виража на водителя, целесообразно вираж устроить с уклоном, равным уклону двухскатного профиля или рекомендованным для данного радиуса СП.



# Проектирование автомобильных дорог

При высоких скоростях движения и малых радиусах кривой величина  $i_v$ , вычисленная по формуле, может быть значительной.

Максимальную величину уклона виража ограничивают из условия предотвращения сползания (скольжения) автомобиля по поверхности дороги движущегося с малыми скоростями или при вынужденной остановке в пределах виража.

Для обеспечения устойчивости автомобиля против бокового скольжения при скользком и грязном покрытии уклон виража должен быть менее  $\varphi_2 = 0,05-0,1$ .

Таким образом, если уклон виража, вычисленный по формуле, больше чем уклон виража, принимаемый для данного радиуса по СП, то его принимают равным большему значению, из рекомендованных для этого радиуса СП.

По СП максимальные значения уклона виража приняты:

- в районах с частыми гололедами - 40 ‰,
- в районах без гололеда до - 60 ‰.



# Проектирование автомобильных дорог

## Поперечные уклоны на вираже

Радиусы кривых в плане, м	Поперечный уклон проезжей части на вираже, ‰	
	основной, наиболее распространенный	в районах с частым гололедом
от 3000 - 1000 для дорог 1 категории	20-30	20-30
от 2000 - 1000 для дорог 2-5 категорий	20-30	20-30
от 1000-800	30-40	30-40
800-700	30-40	30-40
700-650	40-50	40
650-600	50-60	40
600-500	60	40
500-450	60	40
450-400	60	40
400 и менее	60	40



# Проектирование автомобильных дорог

Переход от двускатного к односкатному профилю осуществляют в пределах участка, называемого **отгоном виража**. Отгоны виража размещают по обе стороны от круговой кривой.

Вращение поперечного профиля в пределах отгона виража возможно двумя способами:

- вокруг оси дороги;
- вокруг внутренней кромки проезжей части.

Длину отгона виража – участка перехода от двухскатного поперечного профиля к односкатному определяют по формулам:  
при вращении вокруг оси дороги

$$l_{отг} = \frac{0,5B(i_n + i_e)}{i_{дон}}$$

или при вращении вокруг внутренней кромки

$$l_{отг} = \frac{B \cdot i_e}{i_{дон}}$$

где  $B$  – ширина проезжей части с учетом кромочных полос.





# Проектирование автомобильных дорог

Для двухполосной проезжей части

$$B = (v + a)2,$$

где  $v$  – ширина полосы движения, м;

$a$  – ширина краевой полосы у обочины, м;

$i_{\text{доп}}$  – дополнительный к продольному уклону дороги уклон внешней кромки проезжей части на участке отгона виража, который по СП не должен превышать для дорог I и II категорий 5 ‰, для других категорий – 10 ‰

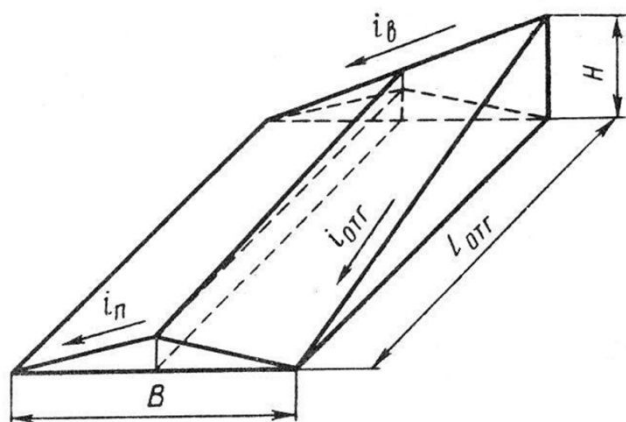


Схема к определению длины отгона виража

Участок отгона виража совмещается с переходной кривой, поэтому, если вычисленная длина отгона виража окажется меньше длины переходной кривой, то ее длина принимается равной длине переходной кривой, то есть если

$$l_{\text{отг}} > L_{\text{пер}}$$

увеличивают длину переходной кривой.



# Проектирование автомобильных дорог

Отгон виража рекомендуется устраивать следующим способом:

1. На расстоянии 10 м от начала отгона внешней обочине придают уклон внешней полосы движения проезжей части. Уклон внутренней обочины сохраняется таким как в пределах двускатного профиля до тех пор, пока выполняется условие  $i_{об} \geq i_{в}$ .

2. На участках, где  $i_{с} \leq i_{п}$  вращение производят внешней полосы движения и внешней обочины вокруг оси дороги. Вращение наружной кромки проезжей части производят с постоянным *дополнительным* уклоном  $i_{дон}$ , принимаемым из условия стока воды в продольном направлении не менее 3 ‰.

Соответственно, длина участка отгона, в пределах которой происходит вращение только внешней полосы движения

$$l_1 = \frac{B \cdot i_n}{i_{дон}}$$

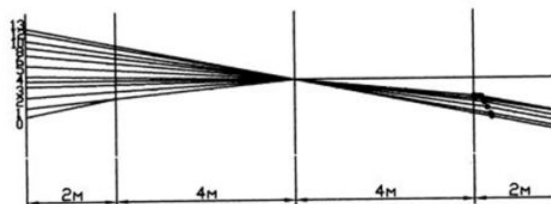
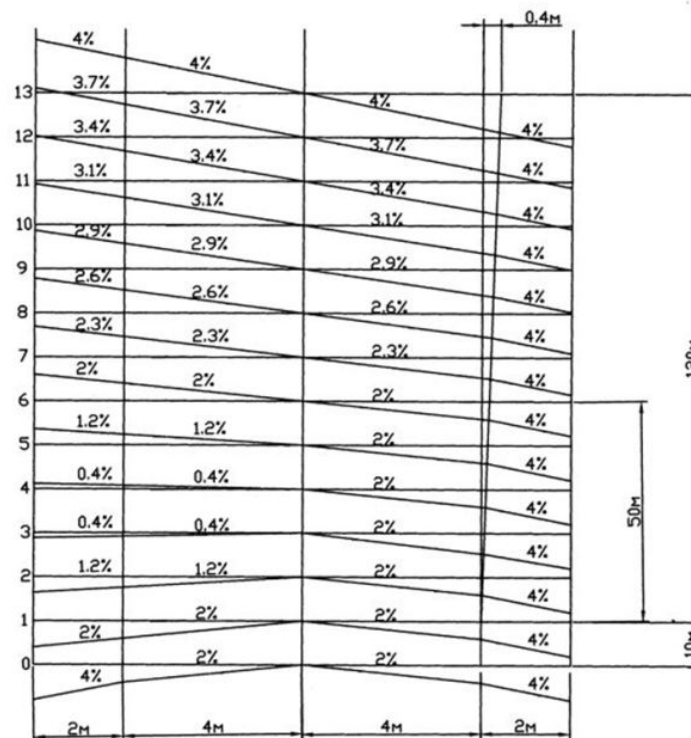
3. На участке, где уклон отгона виража больше уклона двускатного профиля  $i_{с} > i_{п}$  вращение производится всей проезжей частью и внешней обочины вокруг оси дороги или внутренней кромки проезжей части.



# Проектирование автомобильных дорог

Схема вращения отгона виража относительно оси дороги

Пример разбивки отгона виража на автомобильной дороге III категории





# Проектирование автомобильных дорог

---

В городских условиях виражи нежелательны, так как осложняют отвод поверхностной воды, который будет проходить по одному лотку. При большой ширине проезжей части (более 12–15 м) по всей ширине проезжей части будет течь поверхностная вода, поступающая с верховой части улицы. Если в центре проезжей части расположены трамвайные пути, то устройство виража вообще недопустимо. Чтобы избежать устройства виража, трассирование магистральных улиц должно выполняться радиусами, не менее 1200 м.



# Проектирование автомобильных дорог

## Уширение проезжей части на кривых

При движении автомобиля по криволинейному участку дороги он занимает полосу проезжей части по ширине большую, чем требуется в соответствии с его габаритами в плане. Для того чтобы обеспечить условия движения встречных автомобилей такие же, как на прямолинейном участке, необходимо уширить проезжую часть.

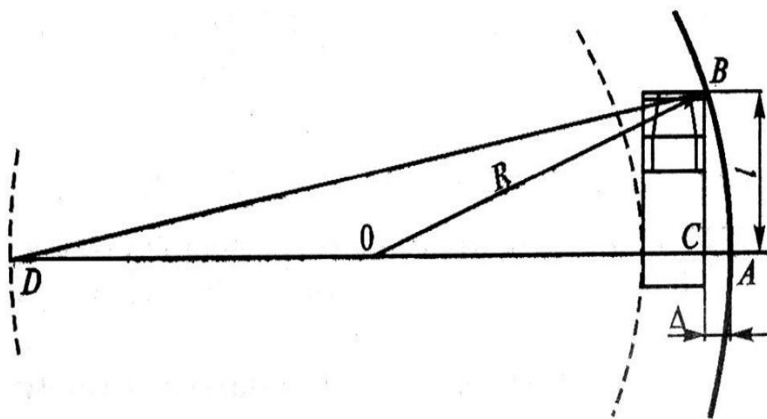
Из подобия треугольников  $ABC$  и  $BCD$  находим что

$$\frac{AC}{BC} = \frac{BC}{CD} \quad \text{или} \quad AC(2R - AC) = l^2$$

где  $l$  – база автомобиля, м.

Пренебрегая в скобках величиной  $AC$ , малой, по сравнению с  $2R$ , получаем, что необходимое уширение одной полосы движения

$$\Delta = \frac{l^2}{2R}.$$



Расчетная схема определения уширения на кривой



# Проектирование автомобильных дорог

Получаемая формула не учитывает возможных отклонений автомобиля от средней траектории при высоких скоростях движения.

Уширение полосы движения с учетом скорости движения рекомендуют определять по эмпирической формуле

$$l = \frac{B^2}{2R} + \frac{0,05V}{\sqrt{R}}$$

Величина уширения зависит от габаритов автомобиля. При проектировании дороги для движения автопоездов уширение при одних и тех же радиусах кривых требуется значительно большее.

По СП уширение проезжей части на дорогах с двухполосной проезжей частью предусматривают при  $R \leq 1000$  м.

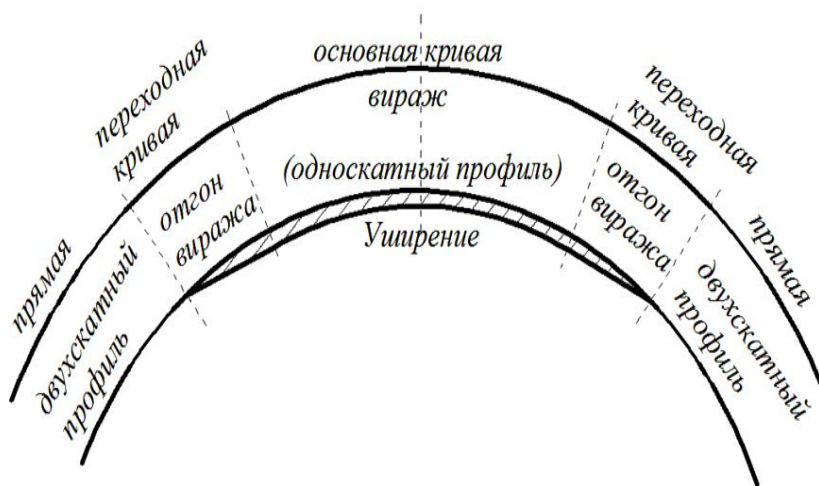
Проезжую часть на кривых в плане уширяют с внутренней стороны за счет обочины, при этом оставшаяся ширина обочины не должна быть меньше 1,5 м для дорог I – II категорий и 1 м – на дорогах остальных категорий.



# Проектирование автомобильных дорог

Участок, в пределах которого осуществляют уширение проезжей части, называют отводом уширения. Отвод уширения, так же, как и отгон виража, располагается в пределах переходной кривой. При этом длина их принимается по большему значению, полученному по расчету.

В пределах круговой кривой уширение имеет постоянную величину.



План закругления

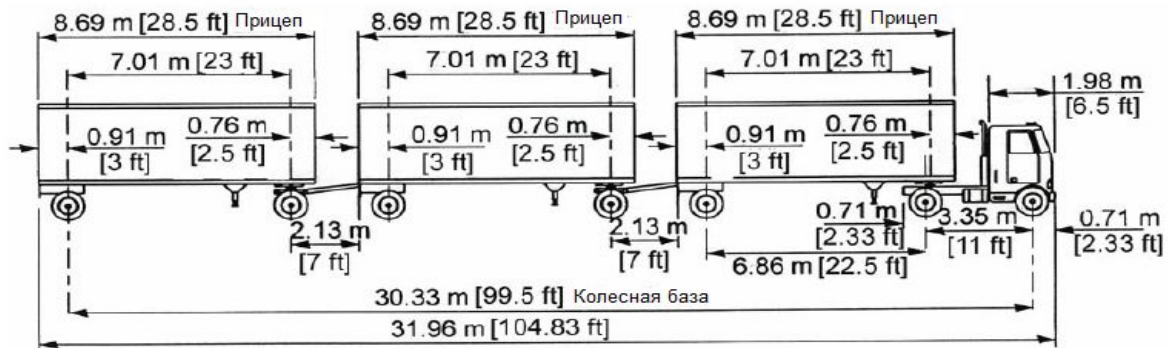
Уширение проезжей части в городских условиях также производят при радиусах менее 750 м за счет полос озеленения. Если по оси проезжей части улицы проложены пути трамвая, то уширение следует делать с каждой стороны трамвайных путей.





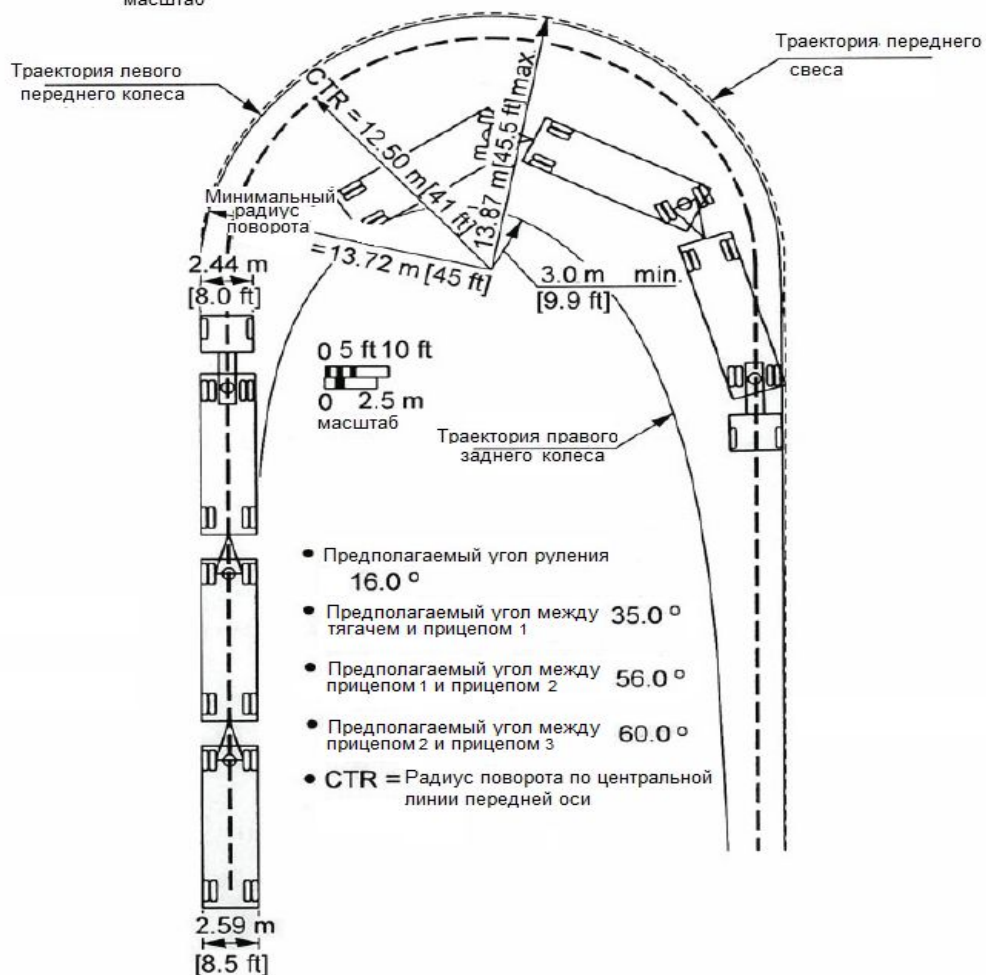
**СИБГАС**

1832

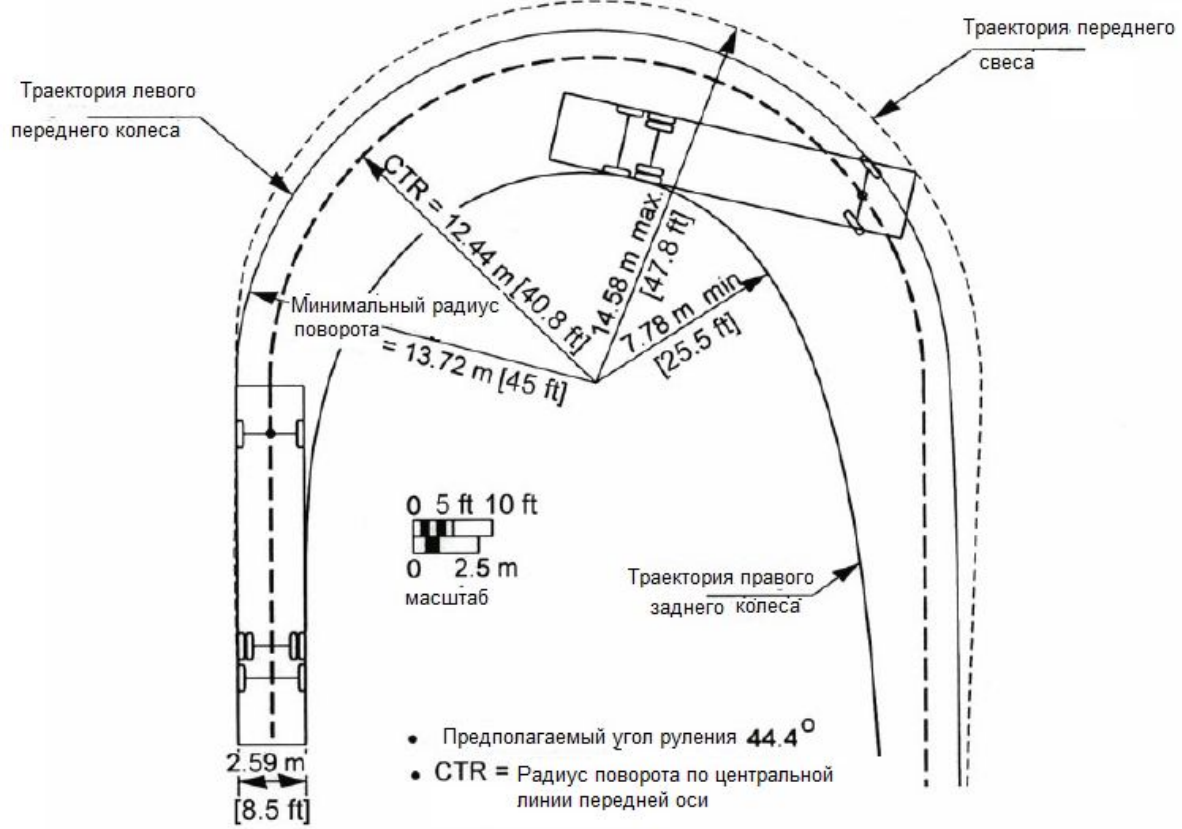
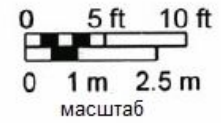
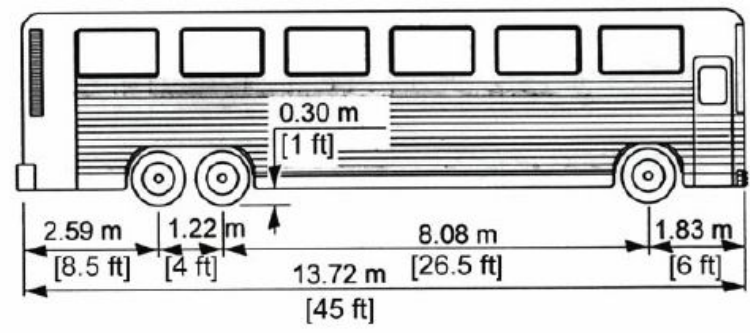


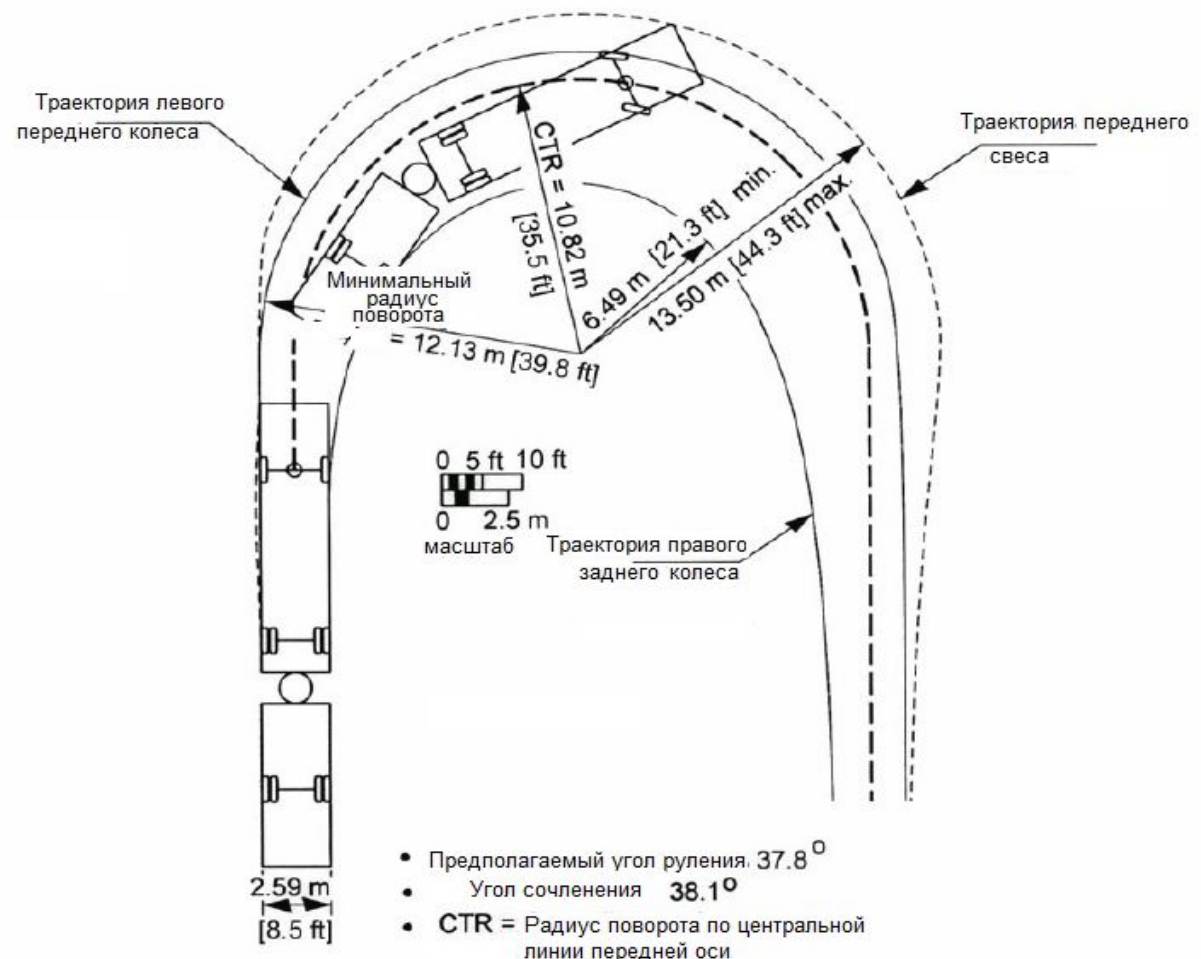
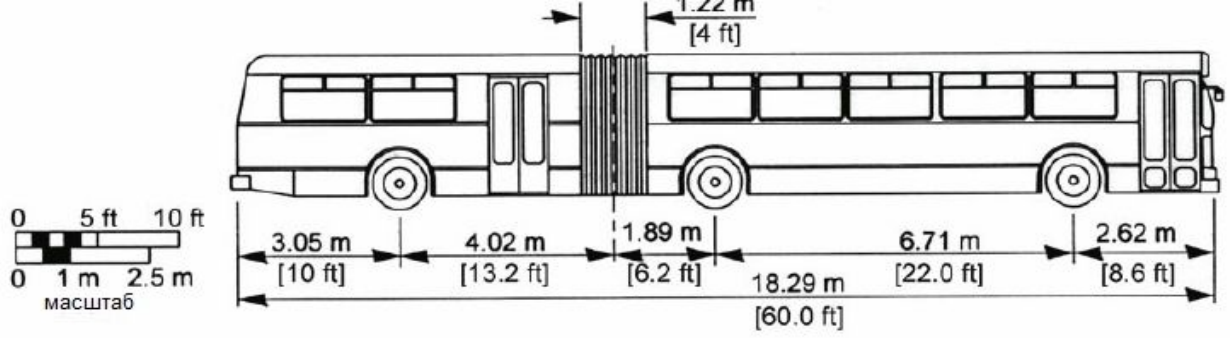
0 5 ft 10 ft

0 2.5 m  
масштаб

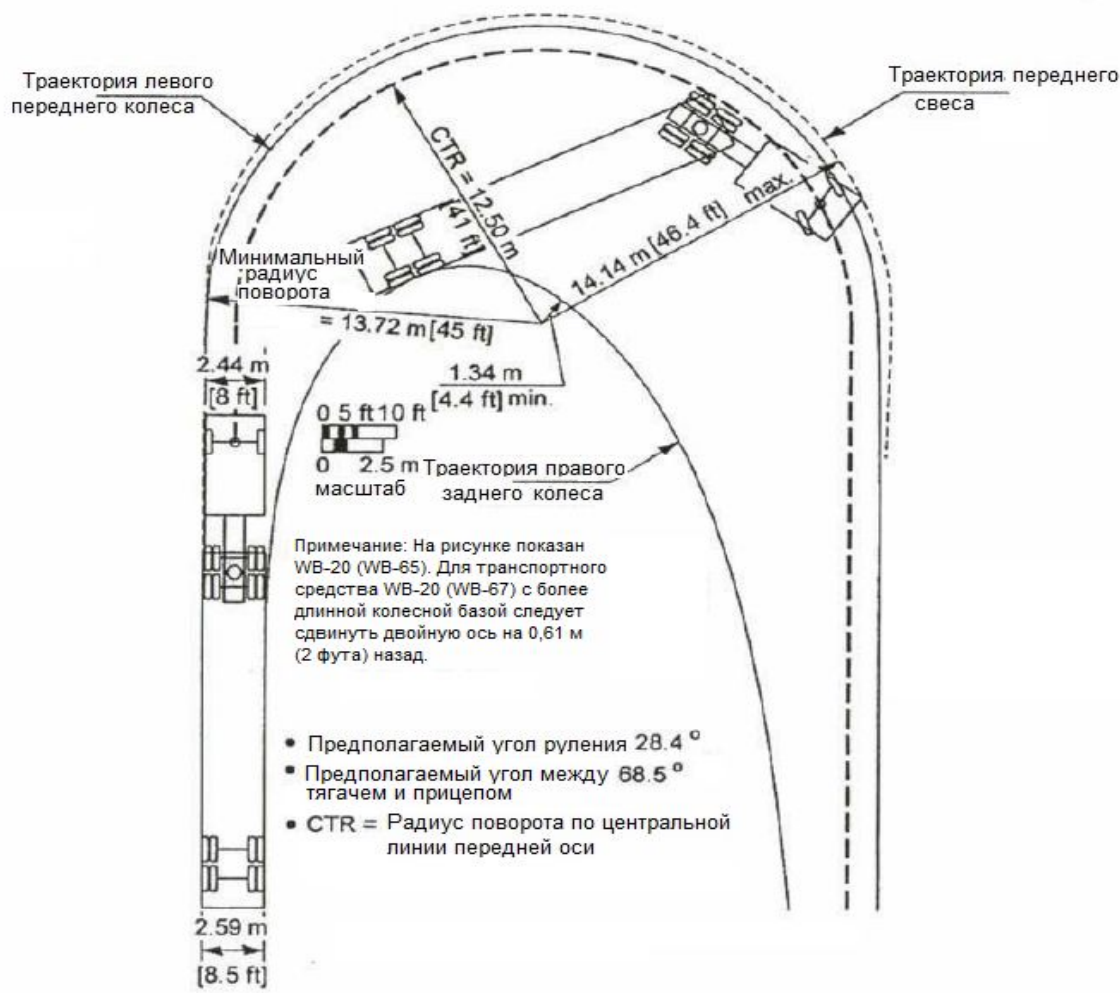
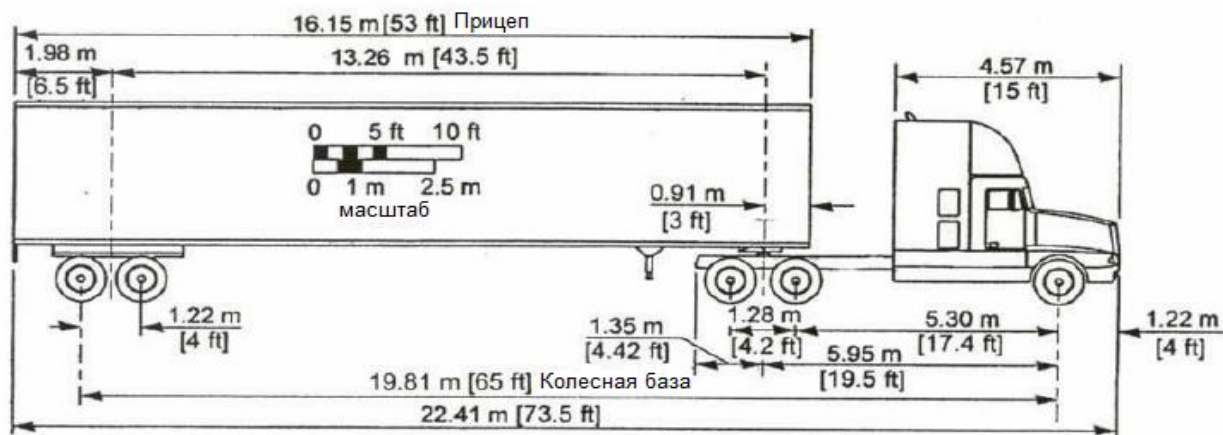








- Предполагаемый угол руления  $37.8^\circ$
- Угол сочленения  $38.1^\circ$
- CTR = Радиус поворота по центральной линии передней оси





# Проектирование автомобильных дорог

---

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ



# Проектирование автомобильных дорог

Продольным профилем улицы или дороги называют развернутую в плоскости чертежа вертикальную ее проекцию.

Основной задачей проектирования продольного профиля является нахождение высотного положения поверхности дороги, как правило, не совпадающей с очертанием поверхности земли (черным профилем). Линию, дающую очертание высотного положения поверхности дороги, называют проектной линией. Отметки точек проектной линии называют проектными отметками, они определяются расчетом.

Следует иметь в виду, что проектную линию на продольном профиле дороги проектируют по оси земляного полотна.

Проектная линия дороги должна удовлетворять следующим требованиям:

- очертание проектной линии должно обеспечивать безопасное движение одиночных автомобилей с расчетными скоростями, соответствующими категории дороги или улицы;
- высотное положение проектной линии автомобильной дороги относительно поверхности земли должно обеспечивать устойчивость и надежность дорожной конструкции в течение всего периода эксплуатации дороги.

Устойчивость дорожной конструкции (дорожной одежды и земляного полотна) наилучшим образом обеспечивается, когда дорога проектируется в насыпи с некоторым определенным по расчету возвышением над поверхностью земли.







# Проектирование автомобильных дорог

## Назначение максимальных уклонов и минимальных радиусов вертикальных кривых

Максимальные уклоны проектной линии и минимальные радиусы выпуклых и вогнутых вертикальных кривых назначают из условия обеспечения безопасного движения одиночных автомобилей с расчетной скоростью при нормальном сцеплении колеса с покрытием проезжей части.

Величину максимального продольного уклона, который может быть преодолен конкретным типом автомобиля, можно определить по данным его динамических характеристик в соответствии с теорией взаимодействия автомобиля и дороги. Однако поскольку по дорогам движется поток из различных типов автомобилей, имеющих разные динамические и скоростные характеристики, при нормировании предельных величин продольных уклонов исходят из минимума суммарных затрат на строительство дороги и эксплуатацию автотранспорта.

Как правило, строительные затраты тем меньше, чем бóльшие продольные уклоны допускаются на дороге. Эксплуатационные затраты (себестоимость автомобильных перевозок), наоборот, тем меньше, чем меньшие уклоны допускаются на дороге. Суммарные затраты.



# Проектирование автомобильных дорог

Максимальные уклоны нормируются в зависимости от расчетной скорости СП 34.13330.2012.

Рекомендуется везде, где это не приводит к удорожанию работ, применять уклоны менее 30 ‰.

При проектировании вертикальных кривых в виде отрезков круговых кривых между длиной кривой, отсчитываемой от вершины, и величинами уклонов касательных (по мере удаления от вершины) зависимость не линейная. Величины уклонов нарастают с удалением от вершины быстрее расстояний.

Поэтому в настоящее время вертикальные кривые проектируют, используя уравнение т квадратной параболы

$$h = \frac{l^2}{2R}$$

где  $R$  – радиус кривизны в начале координат, расположенном в вершине кривой;

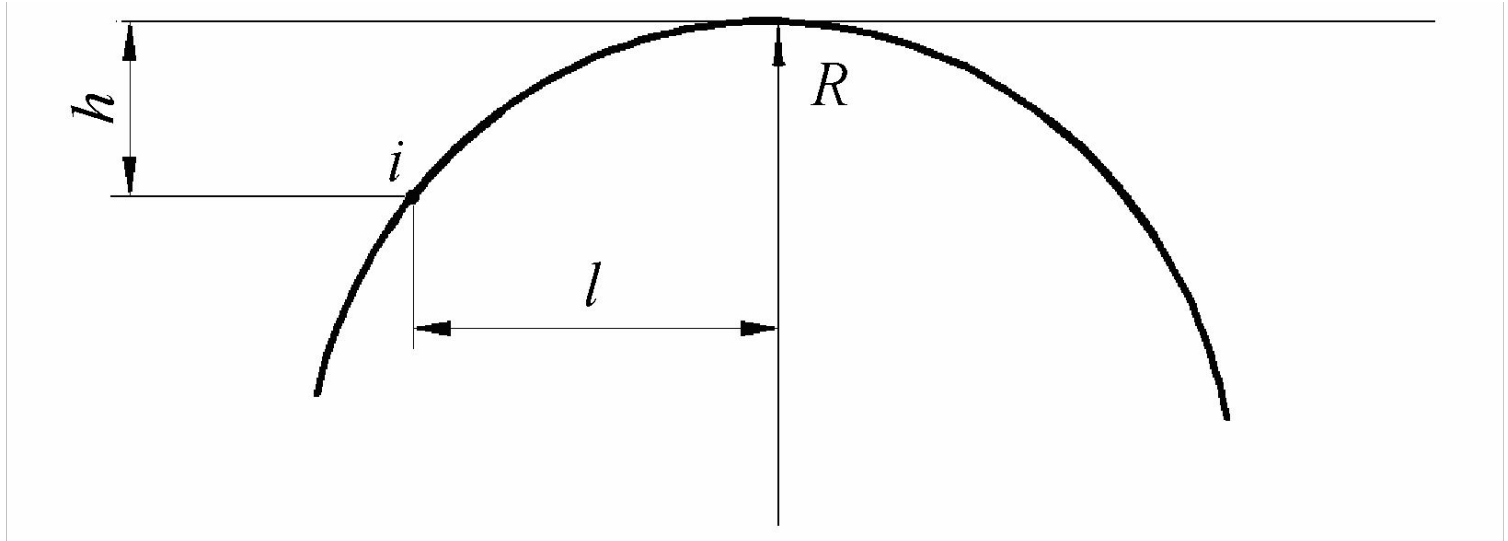
$l$  – расстояние от вершины до данной точки.





# Проектирование автомобильных дорог

## Схема к расчету отметок вертикальных кривых



Величины уклонов касательных (в точках параболы) нарастают равномерно расстоянию  $l$  и обратно пропорционально радиусу кривой

$$i = \frac{l}{R}.$$

Начало координат принимают в вершине кривой, то есть  $h$  и  $l$  определяются относительно вершины кривой.



# Проектирование автомобильных дорог

---

Радиусы выпуклых вертикальных кривых назначают исходя из следующих соображений: при движении по выпуклой вертикальной кривой безопасность и удобство движения уменьшаются из-за отрицательного влияния на управляемость автомобиля центробежной силы, направленной вертикально вверх и уменьшающей сцепной вес автомобиля. Влияние центробежной силы оказывается существенным при малых значениях радиусов выпуклых кривых. При величинах радиусов, обеспечивающих видимость, требования безопасности и удобства движения выдерживаются. Поэтому радиусы выпуклых вертикальных кривых назначаются из условия обеспечения видимости поверхности дороги или встречного автомобиля на расстоянии, равном расчетному расстоянию видимости .

# Проектирование автомобильных дорог

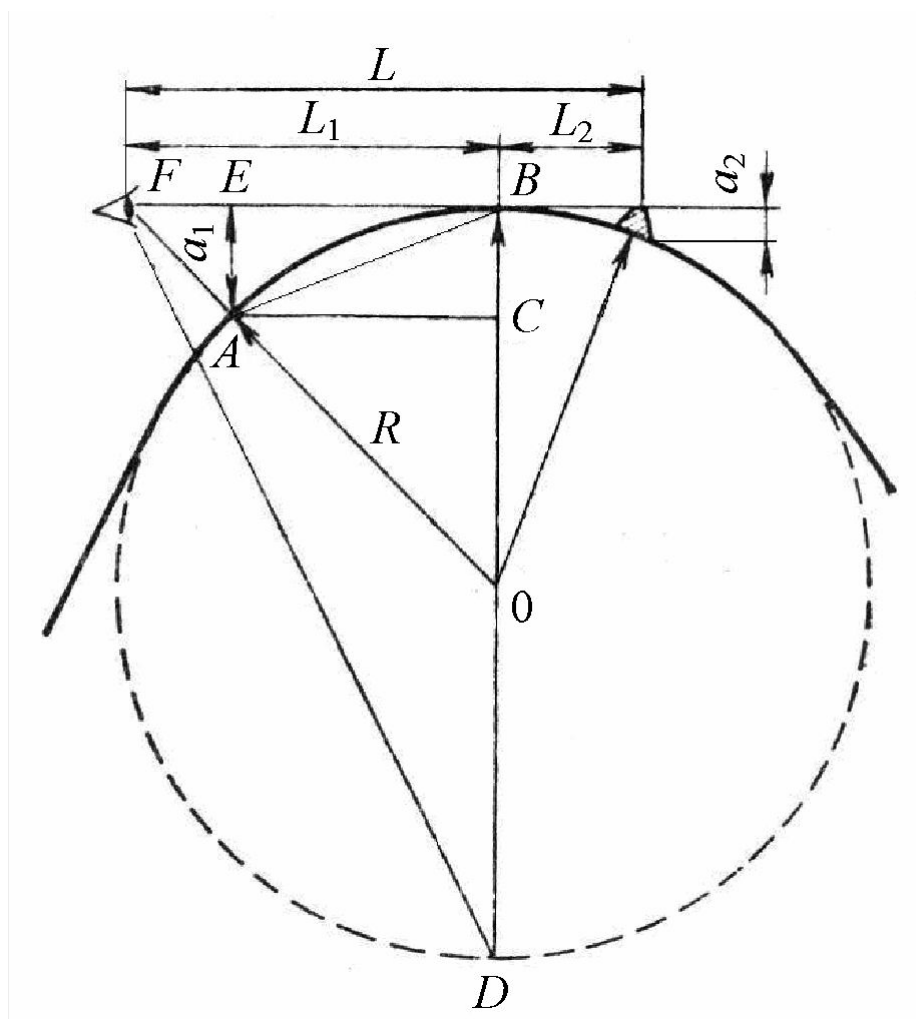


Схема к расчету радиуса вертикальной выпуклой кривой из условия видимости



# Проектирование автомобильных дорог

Для автомобиля, поднимающегося по вертикальной кривой, из подобия треугольников  $ACB$  и  $ACD$  находим:

$$\frac{BC}{AC} = \frac{AC}{CD},$$

$$BC = a_1, \quad AC = AB = l_1, \quad CD = 2R - a_1 \approx 2R,$$

$$BC \cdot CD = AC^2, \quad 2a_1R = l_1^2.$$

Откуда

$$l_1 = \sqrt{2a_1R}$$

По аналогии для автомобиля, поднимающегося по противоположной части кривой,

$$l_2 = \sqrt{2a_2R}$$

# Проектирование автомобильных дорог



Тогда  $S_B = l_1 + l_2 = \sqrt{2a_1R} + \sqrt{2a_2R},$

$$S_B = \sqrt{2R}(\sqrt{a_1} + \sqrt{a_2})$$

Откуда 
$$R = \frac{S_B^2}{2(\sqrt{a_1} + \sqrt{a_2})^2}$$

При определении радиуса по величине  $S_B$ , равной расстоянию видимости встречного автомобиля, принимают  $a_1 = a_2 = 1,2$ , и тогда

$$R = \frac{S_B^2}{2(2\sqrt{a})^2} = \frac{S_B^2}{8a} = \frac{S_B^2}{9,6}.$$

При определении радиуса по величине  $S_{\Pi}$ , равной расстоянию видимости поверхности дороги, принимают  $a_2 = 0$ , и тогда

$$R = \frac{S_{\Pi}^2}{2(\sqrt{a})^2} = \frac{S_{\Pi}^2}{2a} = \frac{S_{\Pi}^2}{2,4}$$



# Проектирование автомобильных дорог

Радиусы вогнутых вертикальных кривых назначаются из условия допустимой перегрузки рессор, возникающей от дополнительного действия центробежной силы, направленной от центра кривой по радиусу

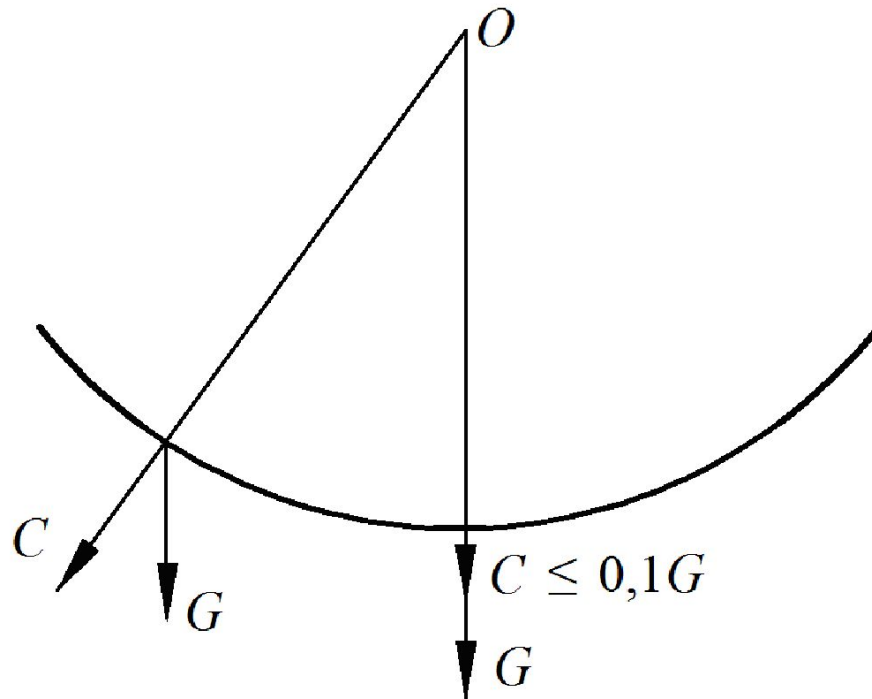


Схема к определению радиуса вертикальной вогнутой кривой из условия допускаемой перегрузки рессор



# Проектирование автомобильных дорог

Поскольку центробежное ускорение  $a = \frac{v^2}{R}$

то  $R = \frac{v^2}{a}$

Величину максимально допустимого центробежного ускорения принимают

$$a = 0,5 \dots 0,7 \text{ м/с}^2.$$

При  $a = 0,5 \text{ м/с}^2$  и  $V$  в км/ч  $R = \frac{V^2}{6,5}$ .

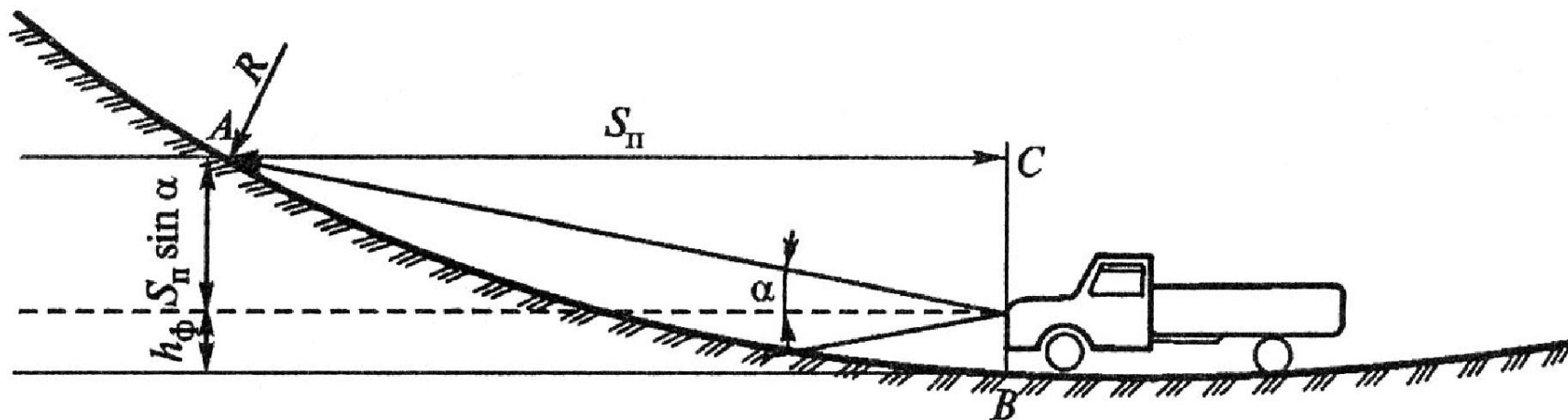
$$C < kG,$$

где  $k = 0,05 \dots 0,1$ , т. е. перегрузка рессор допускается не более 5 – 10 %.



# Проектирование автомобильных дорог

В ночное время при движении по вогнутым кривым возникает затруднение с видимостью



Видимость поверхности покрытия в свете фар в ночное время





# Проектирование автомобильных дорог

Свет фар в вертикальной плоскости распространяется под углом  $2\alpha = 2^\circ$ , где  $2\alpha$  – угол рассеяния света фар.

Обычно  $h_{\phi} = 0,7$  м,  $\alpha = 1^\circ$ ,  $\sin \alpha = 0,0175$ .

Из геометрических соображений:  $\frac{CB}{AC} = \frac{AC}{CD}$ ,

$$CB = S_{\Pi} \sin \alpha + h_{\phi},$$

$$AC = S_{\Pi},$$

$$CD = 2R - (S_{\Pi} \sin \alpha + h_{\phi}) \approx 2R,$$

$$(S_{\Pi} \sin \alpha + h_{\phi})2R = S_{\Pi}^2$$

$$R = \frac{S_{\Pi}^2}{2(h_{\phi} + S \sin \alpha)}.$$



**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**