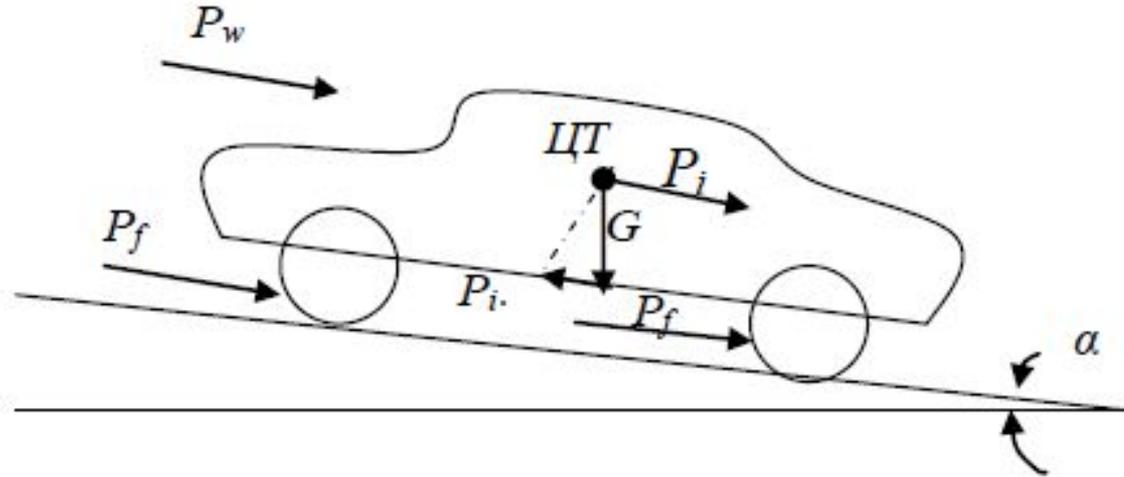


2 Основы расчетов движения автомобилей по дорогам

Сопротивление движению автомобиля



Силы сопротивления:

- сопротивление движению на подъем P_i ;
- сила сопротивления движущемуся колесу P_f ;
- сопротивление воздуха P_w ;
- инерционные силы самого автомобиля P_j .

Сопротивление движению на подъем

Для перемещения автомобиля по участку подъема длиной L на высоту h должна быть выполнена работа на преодоление силы тяжести.

$$P_i = G \cdot \sin \alpha$$

где G – вес автомобиля, кН.

Для малых углов α менее 10° ($\cos \alpha \approx 1$).

$$i = \frac{h}{L} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \approx \sin \alpha$$

Тогда

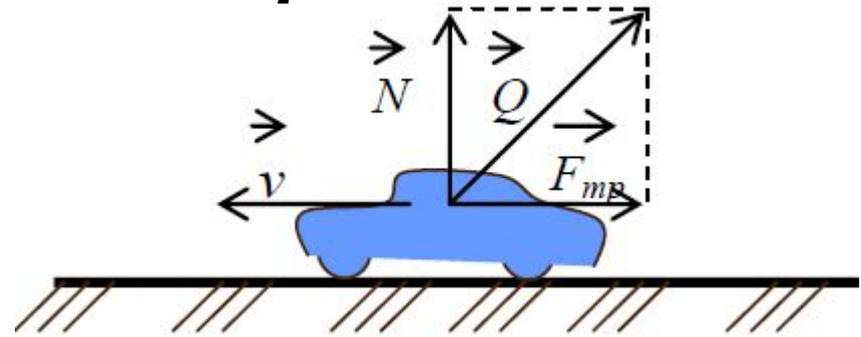
$$P_i = G \cdot i \quad (1)$$

Коэффициент сопротивления движению на подъем равен значению продольного уклона в тысячных долях.

Сопротивление трения

Различают два вида трения

- трение скольжения;
- трение качения.



Сила трения
скольжения

$$P_{\text{тр ск}} = f_{\text{тр ск}} \cdot N$$

где N – модуль нормальной составляющей силы реакции дороги

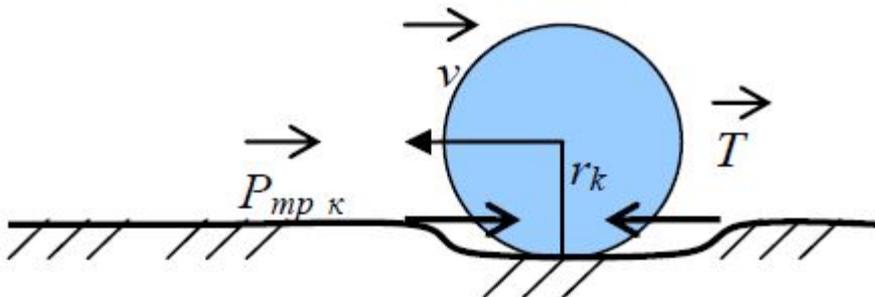
Сила трения качения

$$P_{\text{тр к}} = \frac{f_{\text{тр к}}}{r_{\text{к}}} mg,$$

где $f_{\text{тр к}}$ – коэффициент трения качения, m – масса тела, g – ускорение свободного падения.

$$P_{\text{к}} = G \cdot f, \quad (2)$$

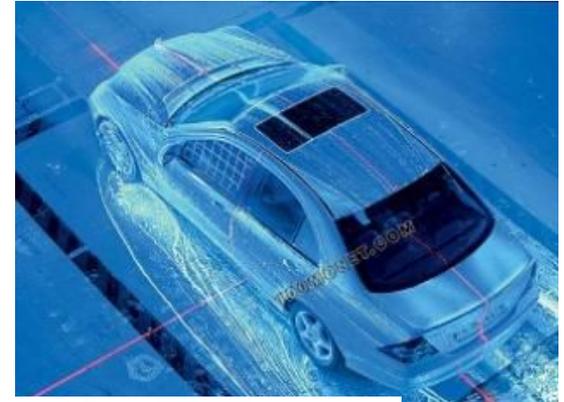
где G – вес автомобиля,
 f – коэффициент сопротивления.



Сопротивление воздуха

Сопротивление воздуха состоит из :

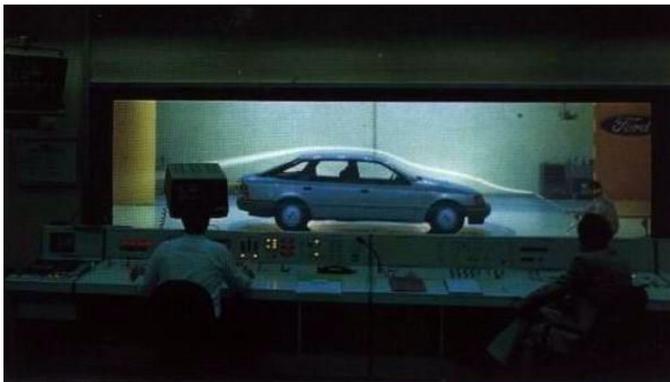
- лобового сопротивления;
- трения воздуха о боковые поверхности автомобиля;
- завихрения воздуха около колес и под кузовом.



Суммарная сила сопротивления воздуха движению автомобиля

$$P_w = \frac{K_g \cdot F \cdot v}{13}, \quad (3)$$

где K_g – коэффициент сопротивления среды, зависящий от формы автомобиля и качества отделки поверхности, F – лобовая площадь автомобиля, v – скорость движения автомобиля.

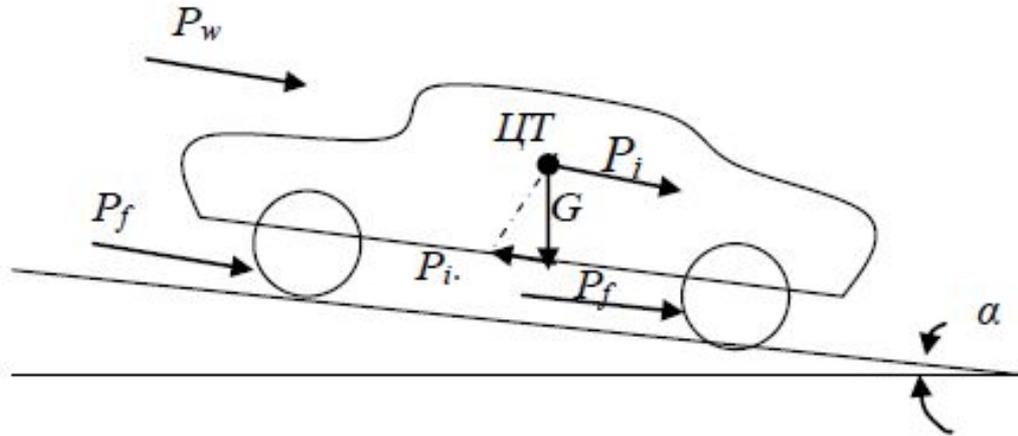


Лобовая
площадь

$$F = 0,8 B \cdot H,$$

где B и H габаритные ширина и высота автомобиля.

Сопротивление инерционных сил автомобиля



При массе автомобиля равной $m=G/g$ и скорости v (м/с) инерционная сила поступательного движения:

$$P_{j\text{пос}} = m \frac{dv}{dt} = \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = G \cdot j,$$

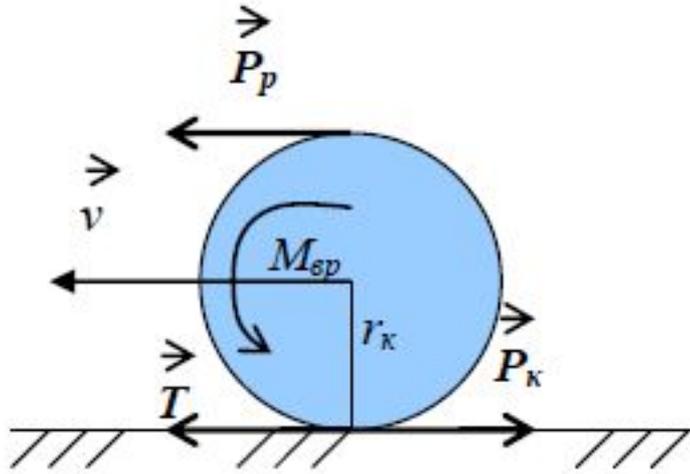
где j - относительное ускорение:

$$j = \frac{1}{g} \cdot \frac{dv}{dt}.$$

Инерцию вращающихся частей автомобиля учитывают с помощью поправочного коэффициента $\delta_{\text{вр}}$

$$P_j = \delta_{\text{вр}} \cdot G_j. \quad (4)$$

Динамические характеристики автомобиля



$$r_k = \lambda r_o,$$

где λ – коэффициент деформации шины (0,95÷0,93),

r_o – радиус колеса,

r_k – радиус качения ведущих колес с учетом обжатия шины в зоне контакта с покрытием.

Тяговое усилие

$$P_p = \frac{M_{сп}}{r_k}$$

Вращающий момент на ведущих колесах $M_{сп} = M_e \cdot i_k \cdot i_0 \cdot \eta$

где M_e – эффективный крутящий момент двигателя; i_k, i_0 – соответственно передаточное число коробки передач и главной передачи; η – механический К.П.Д. трансмиссии автомобиля.

Эффективный крутящий момент

$$M_e = 716,2 \frac{N_e}{n_e},$$

где N_e – мощность двигателя (л.с.);

n_e – частота вращения коленчатого вала (об/мин); 716,2 – коэффициент перехода от [л.с.]

к [Вт].

$$P_p = 716,2 \frac{N_e \cdot i_k \cdot i_0 \cdot \eta}{n_e \cdot r_k}.$$

$$v = \frac{2\pi \cdot r_k \cdot n_e}{60 \cdot i_k \cdot i_o} \quad [\text{м/с}]$$

$$\text{или } v = 0,377 \cdot \frac{r_k \cdot n_e}{i_k \cdot i_o} \quad [\text{км/ч}]$$

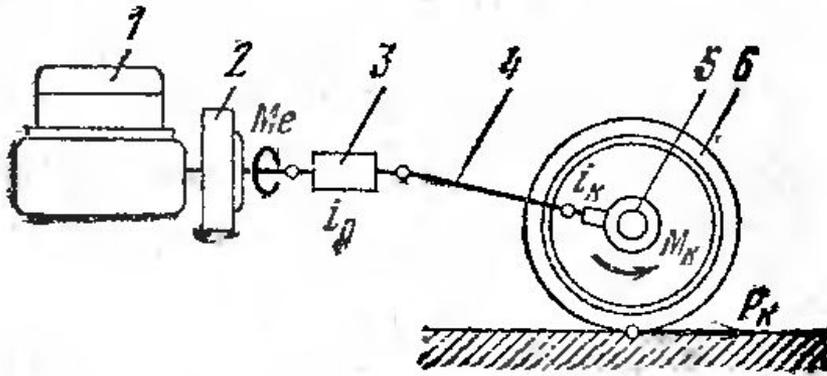
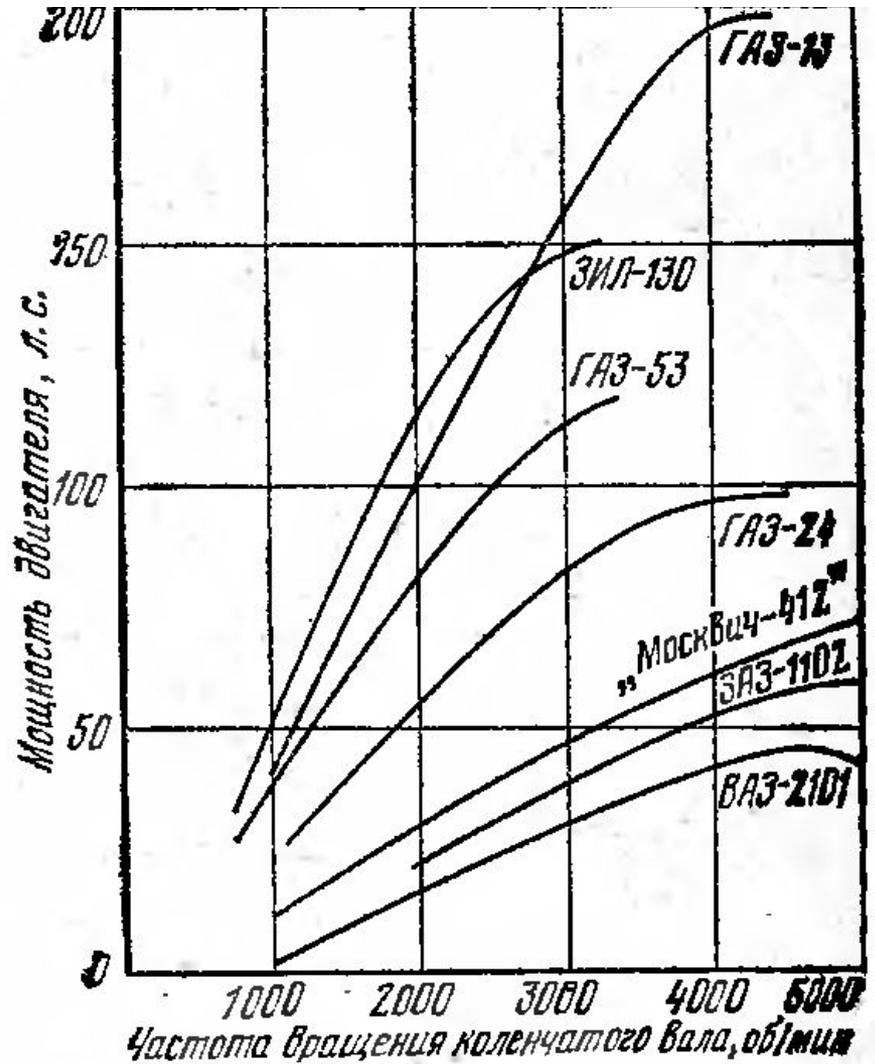


Схема передачи вращающего момента двигателя на колеса автомобиля

- 1 — двигатель; 2 — маховик и сцепление; 3 — коробка передач; 4 — карданный вал; 5 — главная передача; 6 — шина



Внешние скоростные характеристики автомобильных двигателей

Уравнение движения автомобиля

Условие равенства внешних и внутренних сил

$$P_p = P_f \pm P_i + P_w \pm P_j$$

где P_f, P_i, P_w, P_j – силы сопротивления

$$P_p - P_w = P_f \pm P_i \pm P_j$$

$$P_p - P_w = G \cdot f \pm G \cdot i \pm \delta_{\varphi} \cdot G \cdot j$$

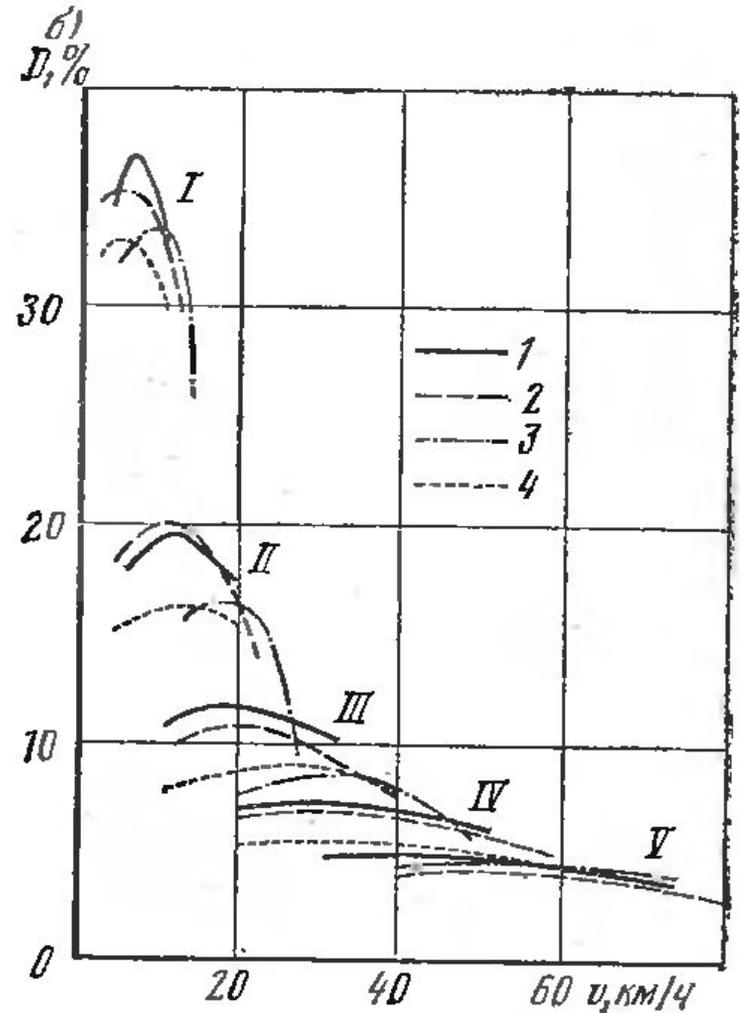
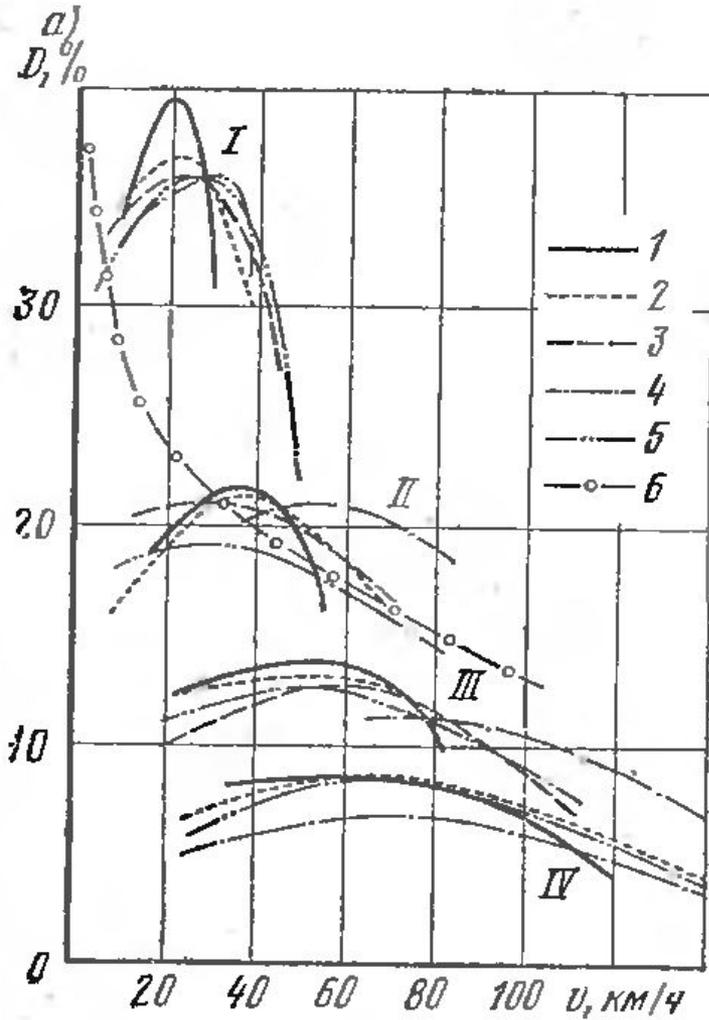
$$\frac{P_p - P_w}{G} = f \pm i \pm \delta_{\varphi} \cdot j$$

$$D = \frac{P_p - P_w}{G}$$

Окончательный вид уравнения движения автомобиля

$$D = f \pm i \pm \delta_{\varphi} \cdot j$$

Примеры динамических характеристик автомобилей



а — легковые автомобили: 1 — ЗАЗ-968 «Запорожец»; 2 — ВАЗ-2103 «Жигули»; 3 — ГАЗ 24 «Волга»; 4 — ГАЗ-13 «Чайка»; 5 — «Москвич-412»; 6 — ЗИЛ-III;
 б — грузовые автомобили: 1 — КамАЗ-5320 с полуприцепом; 2 — ЗИЛ-130; 3 — ГАЗ-53А; 4 — ГАЗ-51А

Сцепление шин с поверхностью дороги

$$\varphi = \frac{P_k^{\max}}{G_k},$$

где – P_k^{\max} максимально допустимое без пробуксовывания тяговое усилие на колесе,
 G_k – вертикальная нагрузка на покрытие.

При $P_k > P_k^{\max}$ начинается пробуксовывание ведущего колеса или проскальзывание заторможенного колеса.

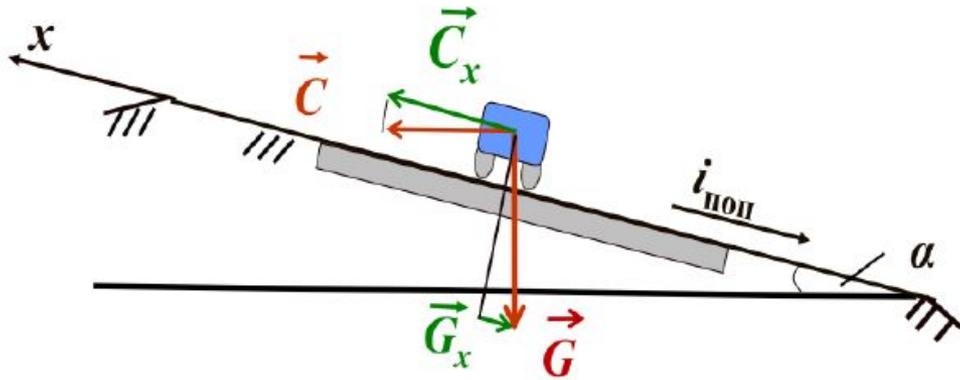
2 вида коэффициента сцепления:

Коэффициент продольного сцепления ($\varphi_{пр}$) соответствует началу проскальзывания заторможенного колеса или началу пробуксовывания движущегося колеса (при качении или торможении) без действия на колесо боковой силы.

Коэффициент поперечного сцепления ($\varphi_{поп}$) возникает в тот момент, когда колесо одновременно и вращается, и скользит в боковом направлении. Он характеризует устойчивость автомобиля при проезде кривых малых радиусов.

$$\varphi_{поп} = (0,5 \div 0,85) \varphi_{пр}.$$

Особенности движения автомобиля в плане



$$C = m \frac{v^2}{R}, \quad (1)$$

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

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

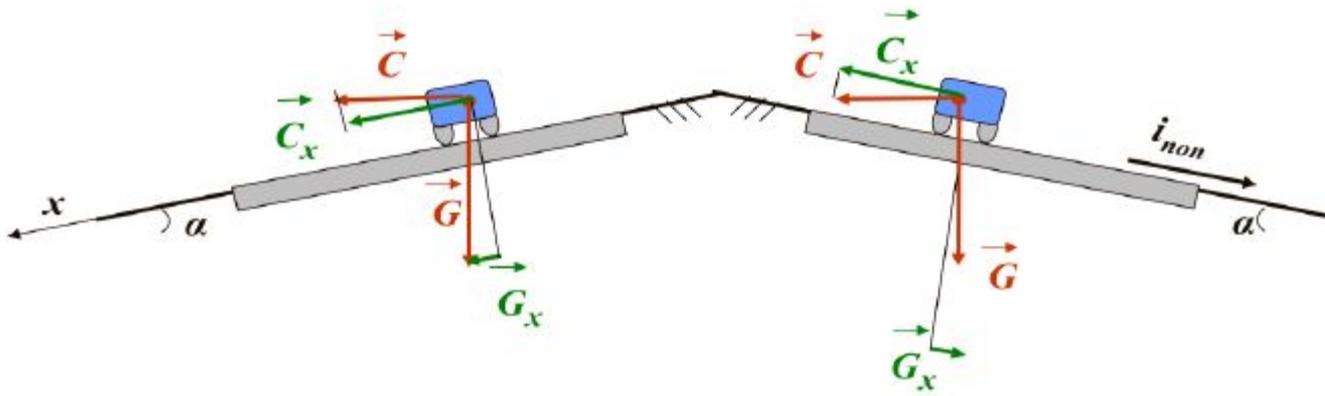
где G – вес автомобиля, Н; g – ускорение свободного падения, м/с².

$$Y = C_x - G_x. \rightarrow C_x = C \cdot \cos \alpha, \quad G_x = G \cdot \sin \alpha,$$

$$Y = C \cdot \cos \alpha - G \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Знак «-» применяют при одностатном профиле (вираже). Знак «+» - на двустатном профиле.

$$Y = C_x + G_x.$$



Тогда в общем случае

$$Y = C \cdot \cos \alpha \pm G \cdot \sin \alpha .$$

(4)

При малых углах α (не более 10°): $\cos \alpha \approx 1$; $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx i_{\text{ноп}}$.

Тогда

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

$$\mu = \frac{Y}{G} \cdot \left(\frac{Y}{G} = \frac{v^2}{g \cdot R} \pm i_{\text{ноп}} \right) .$$

Тогда

$$\mu = \frac{v^2}{g \cdot R} \pm i_{\text{ноп}} .$$

(5)

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

Таблица 5.2 (СП 34.13330.2012)

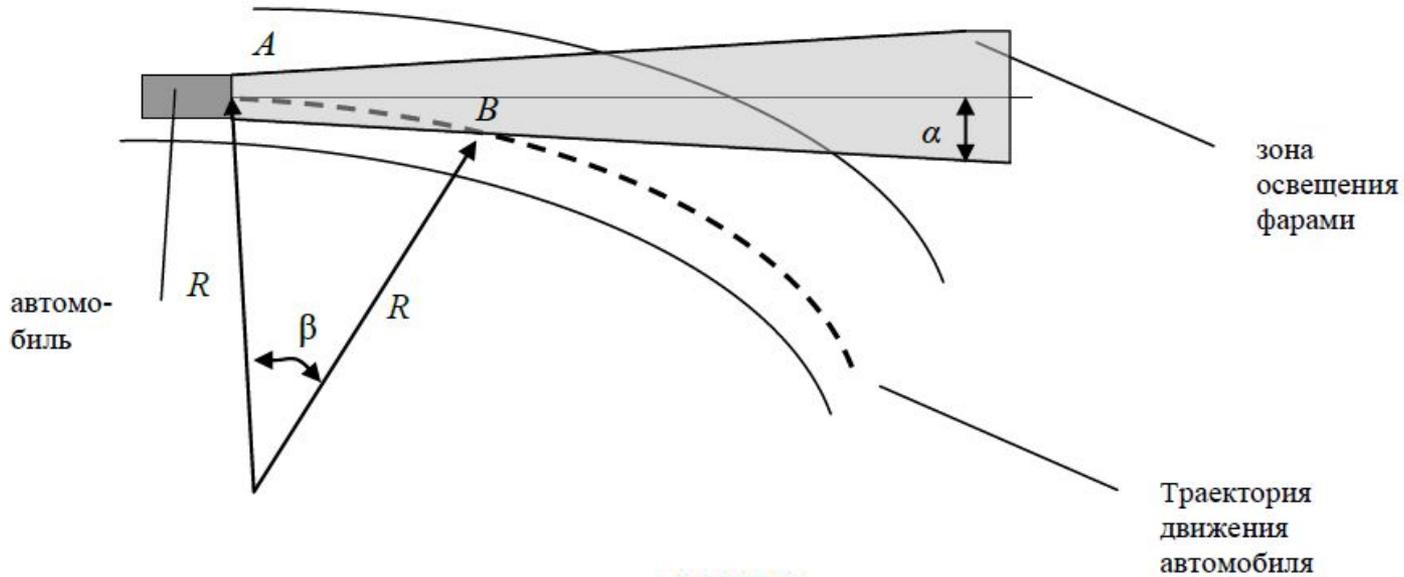
| | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Расчетная скорость, км/ч | 150 | 120 | 100 | 80 | 60 | 50 | 40 | 30 |
| Коэффициент поперечной силы | 0,08 | 0,09 | 0,12 | 0,14 | 0,17 | 0,19 | 0,23 | 0,28 |

$$R_{\min} = \frac{v^2}{g(\mu \pm i_{\text{поп}})} \quad (6)$$

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.

Назначение радиуса кривой в плане, исходя из обеспечения ночной видимости



Длина дуги $AB = s$.
Угол, стягивающий дугу AB ,

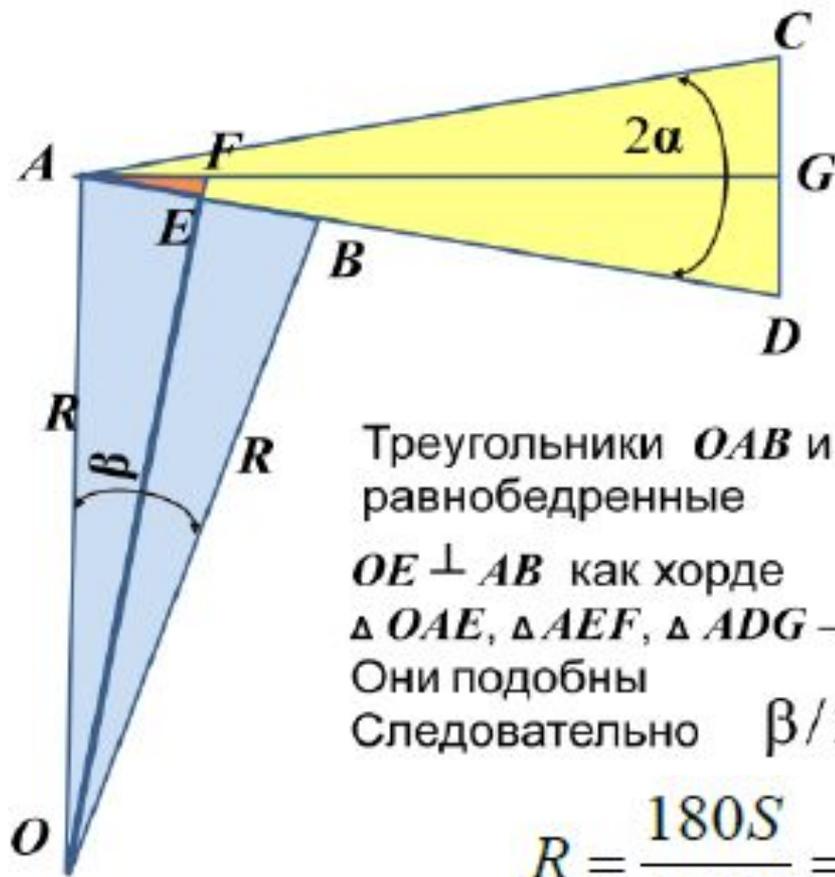
$$\beta = \frac{180S}{\pi \cdot R}.$$

Отсюда,

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

(7)

Из геометрических соображений следует, что $\beta = 2\alpha$



Треугольники OAB и ACD -
равнобедренные

$OE \perp AB$ как хорде

$\triangle OAE$, $\triangle AEF$, $\triangle ADG$ – прямоугольные

Они подобны

Следовательно $\beta/2 = \alpha$ $\beta = 2\alpha$

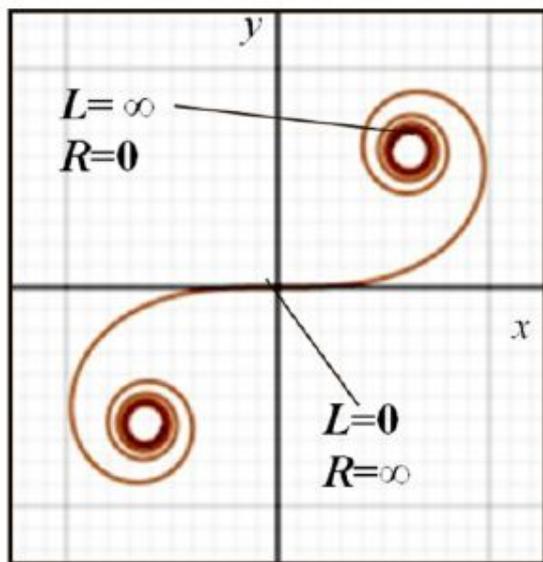
$$R = \frac{180S}{3,14\beta} = \frac{180}{3,14 \cdot 2 \cdot \alpha} \approx \frac{30S}{\alpha}.$$

$$R \approx \frac{30S}{\alpha}.$$

(8)

Проектирование кривых в плане

Назначение длины переходных кривых



Уравнение клотоиды в прямоугольной системе координат:

$$x = L - \frac{L^5}{40C^2} + \frac{L^9}{3456C^4} + \dots$$
$$y = \frac{L^3}{6C} - \frac{L^7}{336C^3} + \frac{L^{11}}{42240C^5} + \dots$$

5.7 Во всех случаях, когда смежные элементы плана трассы в месте их сопряжения отличаются по кривизне более чем $1/2000$, предусматривают их плавное сопряжение кривыми с переменной кривизной - переходными кривыми. Линейность и нелинейность изменения кривизны назначают с учетом взаимного расположения сопрягаемых кривых, расчетных скоростей движения (постоянных, переменных) на переходной кривой и указаний раздела "Трассирование с учетом ландшафта".

Скорость изменения кривизны на переходных кривых не должна превышать значений, указанных в таблице 5.4. (СП 34.13330.2012)

Таблица 5.4 (СП 34.13330.2012)

| | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Расчетная скорость , км/ч | 150 | 120 | 100 | 80 | 60 | 50 | 40 | 30 |
| Допустимая (максимальная) скорость изменения кривизны | 0,69 | 1,35 | 2,33 | 4,56 | 10,80 | 18,66 | 36,45 | 86,40 |

Продолжительность проезда по переходной кривой t , в течение которой центробежное ускорение возрастает от $a = 0$ до $a = v^2/R$. ($a = Jt$)

$$\frac{v^2}{R} = Jt \quad \longrightarrow \quad t = \frac{v^2}{JR}$$

$$L = vt = v \frac{v^2}{JR} = \frac{v^3}{JR}$$

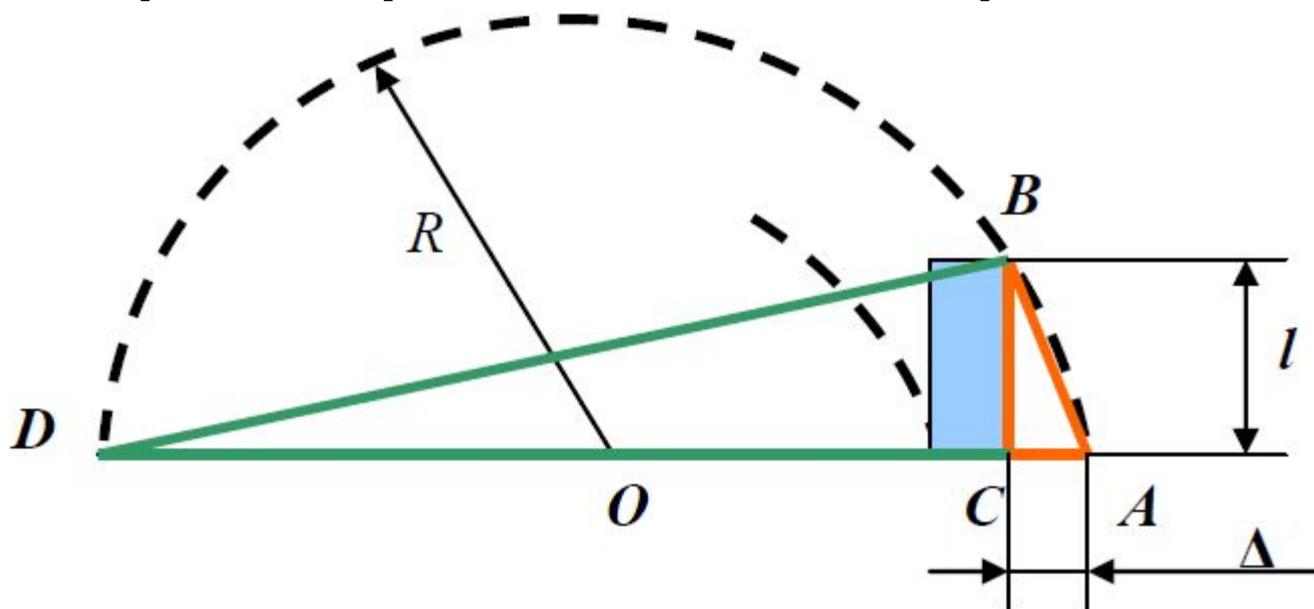
$$L = \frac{v^3}{47JR}$$

Наименьшие длины переходных кривых с линейным законом изменения кривизны (клотоид), сопрягающих прямые и кривые, в зависимости от радиуса этих кривых следует принимать по таблице 5.5.

Таблица 5.5 (СП 34.13330.2012)

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|---------------|
| Радиус круговой кривой, м | 30 <i>v</i> | 50 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 | 600-10 00 | 1000-200 0 |
| Длина переходной кривой, м | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 100 |

Уширение проезжей части на кривых в плане



Из подобия треугольников BCD и ABC
следует:

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

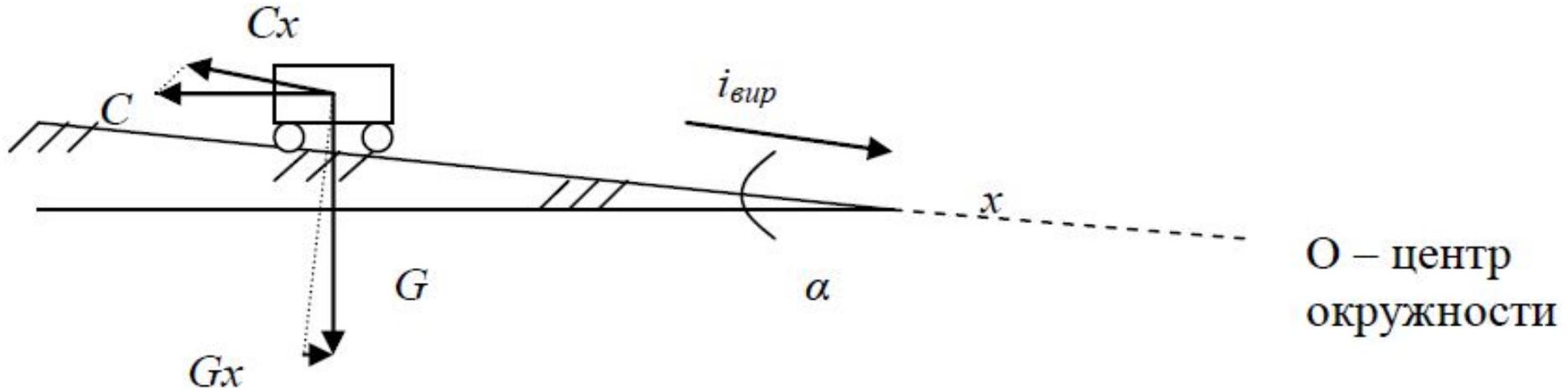
$$\frac{\Delta}{l} = \frac{l}{2R - \Delta}. \quad \text{Отсюда следует} \quad \Delta(2R - \Delta) = l^2$$

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

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

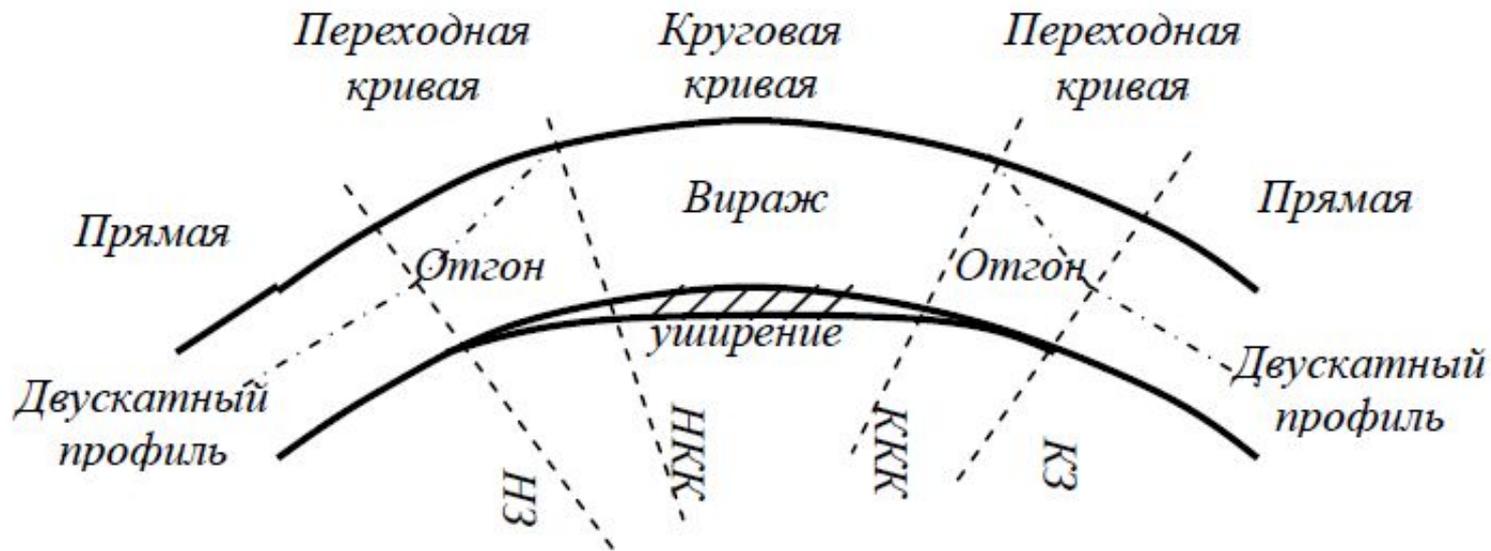
Проектирование виражей

Внешняя полоса



Основные элементы виража:

- 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).



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

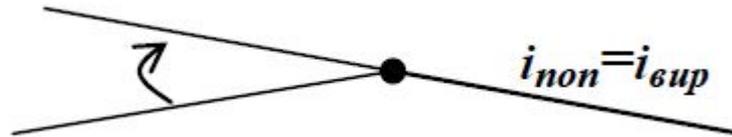
5.33 Односкатный поперечный профиль закругления (вираж) следует предусматривать при радиусах кривизны меньше, чем 3000 м для дорог категории I и 2000 м - для дорог категорий II-V.

Уклоны виража на всем участке закругления, включая круговую кривую и примыкание к ней участков кривых с переменной кривизной, назначают в зависимости от радиусов кривизны по таблице 5.17.

Виды виражей

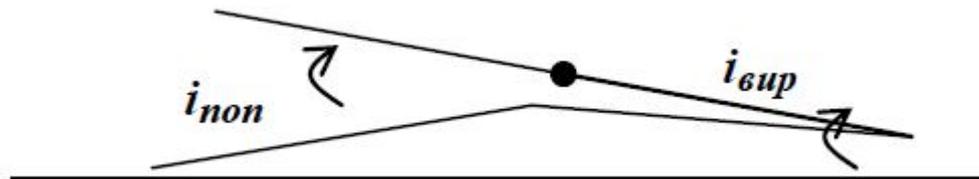
Вирав 1-го типа $i_{\text{поп}} = i_{\text{вир}}$

Для перехода к односкатному профилю постепенно поворачивают внешнюю половину проезжей части вокруг оси.

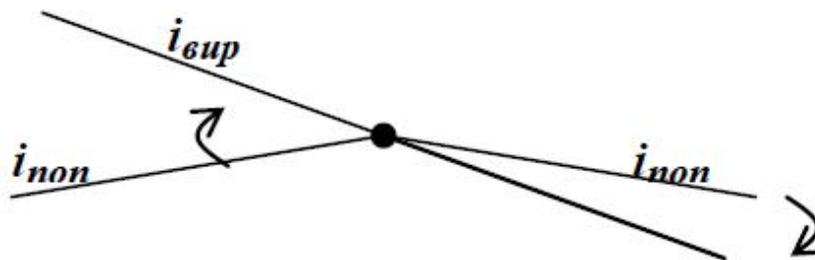


Вирав 2-го типа $i_{\text{поп}} < i_{\text{вир}}$

1 Поворот внутренней половины вокруг внутренней кромки покрытия, а внешней – вокруг оси дороги



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



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

