

## 11. РАСЧЁТ КРУГОВОГО ПОВОРОТА АВТОМОБИЛЯ

Целью практической работы №11 является дальнейшее углубление и закрепиение знаний, полученных на лекциях по теме «Управляемость», на основе расчёта кругового поворота автомобиля с учётом теории нелинейного увода пневматических шин.

### 11.1 Методические указания

Круговой поворот автомобиля является частным случаем криволинейного движения, так как ему в естественных условиях движения обычно предшествует этап входа в поворот, а после кругового движения следует этап выхода из поворота.

**Изучение кругового поворота представляет приоритетный интерес для теории по двум причинам.**

Во - первых, он достаточно информативен и в значительной степени позволяет оцепить некоторые свойства и показатели управляемости автомобиля;

Во - вторых, наиболее прост в описании и анализе по сравнению с процессами неустановившегося криволинейного движения.

***Расчёт кругового поворота позволяет решить следующие задачи:***

1. Определить кинематические параметры кругового поворота (радиус поворота, смещение полюса поворота, угловую скорость поворота, чувствительность к управлению) и зависимости этих параметров от технических и эксплуатационных свойств автомобиля.
2. Оценить свойство поворачиваемости и влияние на него различных конструктивных и эксплуатационных факторов.

3. Оценить статическую траекторную управляемость автомобиля,
4. Проанализировать влияние параметров кругового движения на сопротивление движения автомобиля.

Организация занятия предусматривает расчёт различных вариантов кругового движения автомобиля, что позволяет разбить группу на подгруппы численностью в 2..3 студента.

## 11.2. Расчет кругового поворота

Основными выражениями при определении кинематических параметров кругового поворота, необходимых для решения поставленных задач, являются: формула радиуса поворота

$$R = \frac{L}{\theta - \delta_1 + \delta_2}, [\text{М}] \quad (11.1)$$

где  $\theta$  [рад] - угол поворота управляемых колес;  $\delta_1, \delta_2$  - углы увода осей.

$$\delta_1 = \frac{m_1 V^2}{R k_{y1}}; \quad \delta_2 = \frac{m_2 V^2}{R k_{y2}}, [\text{рад}] \quad (11.2)$$

$$R = \frac{L - V^2(m_2/k_{y2} - m_1/k_{y1})}{\theta}, [\text{М}]$$

где  $m_1, m_2$  - массы, приходящиеся соответственно на переднюю и заднюю оси автомобиля;

$k_{ПВ}$  - коэффициент поворачиваемости

$$k_{ПВ} = \frac{m_2}{k_{y2}} - \frac{m_1}{k_{y1}}.$$

Во все расчетные формулы входят коэффициенты  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  сопротивления уводу передней и задней осей, зависящие от многих параметров.  $k_y$  равен боковой силе действующей на колесо, вызывающий увод с углами  $\delta=1^\circ [H/^\circ]$ . В проводимом расчете предлагается учесть и выявить степень влияния на коэффициенты  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  и на конечные параметры (показатели) поворота и соответствующих свойств два коэффициента корр  $k_{yi} = k_{y\max} q_{zi} q_{Ti}$ , (11.3) с формулой:

где  $q_{zi}$  - коэффициент коррекции в зависимости от нагрузки;  
 $q_{Ti}$  - коэффициент коррекции в зависимости от продольной силы;  
 $i$  - ось автомобиля.

Коэффициент коррекции  $q_{zi}$  учитывается по формуле:

$$q_{zi} = 2,4 a_z - 1,8 a_z^2 + 0,4 a_z^3, \quad (11.4)$$

$$a_z = \frac{P_z}{P_{z\text{опт}}}, \quad \text{где } P_z \text{ - нагрузка на 1 колесо [Н]} \quad P_z = \frac{m_i g}{n_K}, \quad \text{где } n_K \text{ - количество колес на оси (2 или 4).}$$

$P_{z\text{опт}}$  - для легковых автомобилей равен доле полной массы автомобиля, приходящейся на колесо, для грузовых автомобилей равен 1,4 полной массы, приходящейся на колесо. Коэффициент  $q_T$  вычисляется по формуле:

$$q_{Ti} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{R_x}{R_{x\max}}\right)^2}}{1 + 0,375 \cdot k_u}, \quad (11.5)$$

Где  $R_{X_{\max}} = R_Z \cdot \varphi_X$ ;  $R_{X_{\text{ведом}}} = R_Z f$ ;  $R_{X_{\text{ведущ}}} = P_T - R_Z f$ ;  $k_{\text{ц}} = \frac{R_X}{R_Z}$ .

Если подставить в формулу (11.5) значения  $R_X$  в зависимости от того, ведущий мост или ведомый, получатся следующие формулы:

$$q_{\text{Тведомый}} \cong 1;$$

$$q_{\text{Тведущий}} = \frac{\sqrt{1 - \left( \frac{P_T}{R_Z \varphi_X} - \frac{f}{\varphi_X} \right)^2}}{1 + 0,375 \left( \frac{P_T}{R_Z} - f \right)}.$$

### 11.3. Методические указания

#### 11.3.1. Исходные данные для расчета

Расчет производится для двухосного легкового или грузового автомобиля как снаряженной, так и полной массы, в двух вариантах:

легковой автомобиль - задний привод, передний привод;

грузовой автомобиль - задний привод, полный привод.

Для расчета кругового движения необходимы следующие исходные данные (для двух состояний автомобиля): снаряженная и полная масса; массы, приходящиеся на первую ( $m_{a1}$ ) и вторую ( $m_{a2}$ ) оси автомобиля.

Кроме этого, часть исходных данных принимается в соответствии с рекомендациями теории или по опытным данным, а именно: коэффициент сопротивления качению  $f_k$ , при отсутствии конкретных экспериментальных данных принимается  $f_k = 0,01$ ; коэффициент сцепления  $\varphi_X = 0,8$ ;  $k_{y_{\max}} = 27$  кН/рад (на два колеса);

Расчет ведется при:  $\theta = const$ ;

скорость автомобиля:

10, 15, 20, 25, 30 м/с - для легковых автомобилей;

10, 12, 14, 16, 18 м/с - для грузовых автомобилей;

$P_T$  принимается из уравнения силового баланса для соответствующей скорости как сумма  $P_B + P_K$

**Ограничение для расчетов:**

максимальный угол увода ( $\bar{\delta}_{max}$ ) не должен превышать 20 град (0,35 рад).

### 11.3.2. Порядок расчета

Вначале определяется угол поворота рулевого колеса ( $\theta$ ):

без учета углов увода ( $\bar{\delta}_1 = \bar{\delta}_2 = 0$ ), используя значение  $R_\sigma$  из формулы (11.1) он принимается const.

Рассчитываются коэффициенты увода  $k_{yi}$  для заданных скоростей, вариантов привода автомобиля и двух состояний (снаряженная масса, полная масса);

находим  $q_{zi}$  для снаряженной массы и полной массы;

находим  $q_{Ti}$  для двух вариантов привода автомобиля и двух состояний (снаряженная масса, полная масса);

рассчитываем  $k_{yi}$ .

Находим  $\bar{\delta}_i$  для заданных скоростей.

Корректируется радиус поворота  $R$  с учетом  $k_{yi}$  и  $\bar{\delta}_i$ , находится  $k_{ПВ}$  и все значения заносятся в таблицу 11.1.

Таблица 11.1 заполняется для двух вариантов привода автомобиля и двух состояний (снаряженная масса, полная масса).

Строятся графики зависимости  $R - f(v)$  и  $\delta_i - f(v)$  для двух вариантов привода автомобиля и двух состояний (снаряженная масса, полная масса) (рис. 11.1, 11.2).

## 11.4. Пример выполнения практического занятия № 11

### 11.4.1. Исходные данные для расчёта

За прототип принимаем автомобиль УАЗ-3962;

Полная масса автомобиля  $m_a = 2500$  кг

Снаряжённая масса автомобиля  $m_c = 1825$  кг.

Шины 215 - 380, модель Я-245-1.

Колёса передние и задние однокатные.

Полная масса автомобиля, приходящаяся на ведущие колёса:

задние  $m_2 = 1265$  кг;

передние  $m_1 = 1235$  кг.

Масса снаряженного автомобиля, приходящаяся на ведущие колёса: задние  $m_2 = 790$  кг; передние  $m_1 = 1035$  кг.

Высота центра масс  $h_g = 0,83$  при частичной нагрузке и  $0,88$  при полной на грузке.

$K_f = 7 \cdot 10^{-6}$  (коэффициент учитывающий зависимость  $f_a$  от скорости движения автомобиля [ м/с ] )  $f_a = f_0 + K_f V$  - коэффициент сопротивления качению.

Габаритная высота  $H_g = 2,1$  м;

Ширина колеи  $B_g = 1,445$  м;

Коэффициент обтекаемости      УАЗ-3962       $K_v = 0,45 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$

Таблица 11.1

$V$ , м/с л.а. (г.а.)	10 (10)	15 (12)	20 (14)	25 (16)	30 (18)
$\theta$ const, рад					
$q_{z1}$					
$q_{z2}$					
$q_{T1(1)}$					
$q_{T2(1)}$					
$q_{T1(2)}$					
$q_{T2(2)}$					
$k_{y1(1)}$					
$k_{y2(1)}$					
$k_{y1(2)}$					
$k_{y2(2)}$					
$\delta_{1(1)}$ , рад					
$\delta_{2(1)}$ , рад					
$\delta_{1(2)}$ , рад					
$\delta_{2(2)}$ , рад					
$k_{пв(1)}$					
$k_{пв(2)}$					
$R_{(1)}$ , м					
$R_{(2)}$ , м					

Примечание: (1) - 1-й вариант (л.а. и г.а. - задний привод);  
(2) - 2-й вариант (л.а. - передний привод, г.а. - полный привод);

снаряженная масса автомобиля

полная масса автомобиля

$$R = \frac{L}{\theta - \delta_1 + \delta_2}, [\text{М}]$$

$$k_{\text{ПВ}} = \frac{m_2}{k_{y2}} - \frac{m_1}{k_{y1}}$$

$$a_z = \frac{P_z}{P_{\text{ЗОПТ}}}$$

$$q_{\text{П}} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{R_X}{R_{X\text{max}}}\right)^2}}{1 + 0,375 \cdot k_{\text{ц}}}$$

$$k_{yi} = k_{y\text{max}} q_{zi} q_{\text{П}},$$

$$P_z = \frac{m_i g}{n_K}$$

$$R_{X\text{max}} = R_Z \cdot \varphi_X;$$

$$\delta_1 = \frac{m_1 V^2}{R k_{y1}}; \quad \delta_2 = \frac{m_2 V^2}{R k_{y2}}, [\text{рад}]$$

$$R = \frac{L - V^2(m_2/k_{y2} - m_1/k_{y1})}{\theta}, [\text{М}]$$

$$q_{zi} = 2,4 a_z - 1,8 a_z^2 + 0,4 a_z^3,$$

$$R_{\text{Хведом}} = R_Z f; \quad R_{\text{Хведущ}} = P_T - R_Z f; \quad k_{\text{ц}} = \frac{R_X}{D}.$$

$$q_{\text{Тведомый}} \cong 1;$$

$$q_{\text{Тведущий}} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{P_T - f}{R_Z \varphi_X}\right)^2}}{1 + 0,375 \left(\frac{P_T - f}{R_Z}\right)}$$

$P_T = P_B + P_K$  для текущей скорости движения  $P_B = K_B * A * v^2$

$A$ - лобовую площадь приближённо подсчитать по формулам:

$A_f = B * H$  - для грузовых автомобилей;

$A_{\text{л}} = 0,8 B * H$  - для легковых автомобилей;

где  $B$  - колея колес;

$H_f$  - габаритная высота;

$B_f$  - габаритная ширина автомобиля.

$$P_K = f_a * G_a * \cos \alpha = f_0 * G_a$$

где  $f_a = f_0 + K_f V$  - коэффициент сопротивления качению;  $K_f = 7 * 10^{-6}$  [м/с]

$G_a$  - сила тяжести автомобиля.



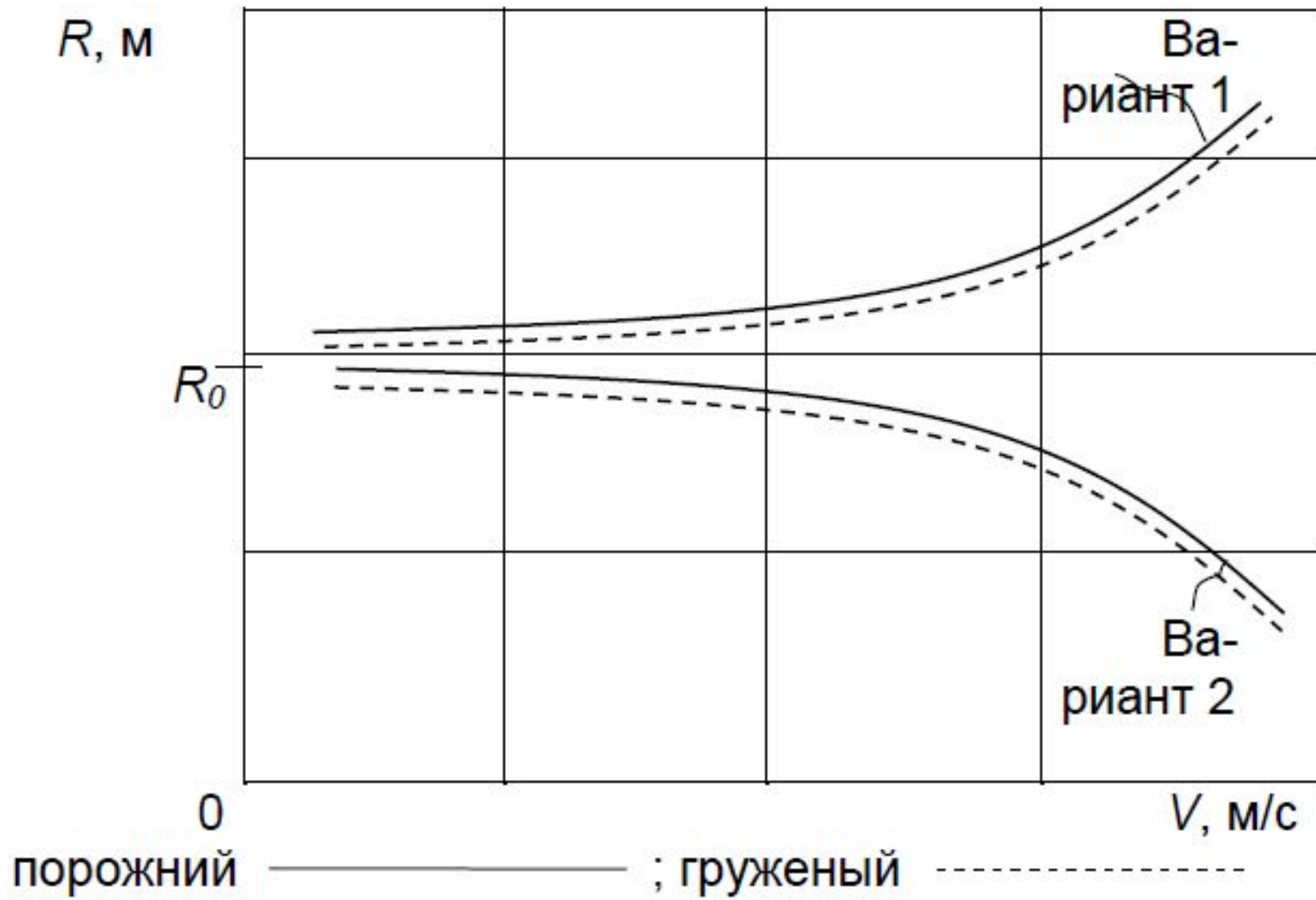


Рис. 11.1 Зависимость  $R$  от скорости движения

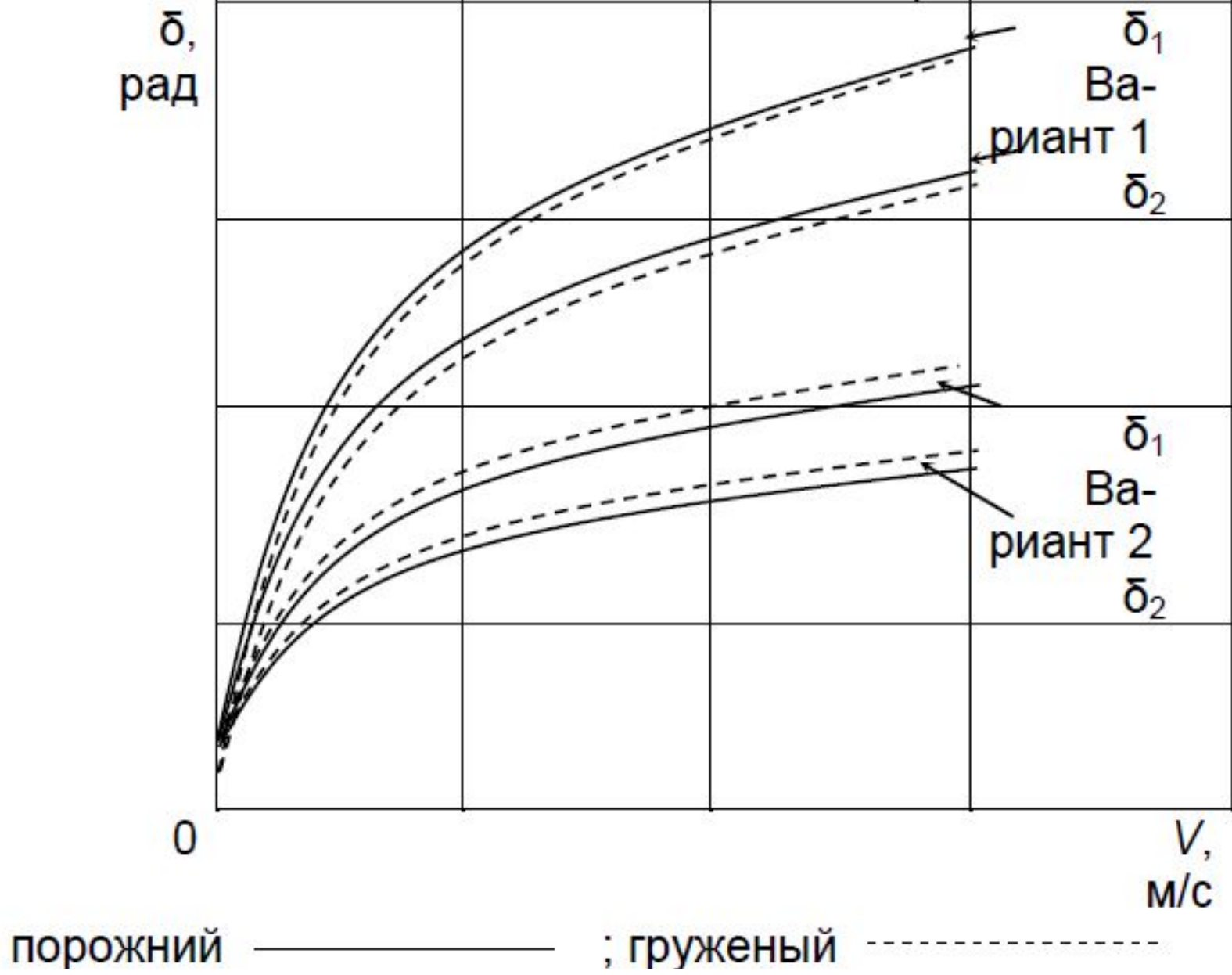


Рис. 11.2 Зависимость углов увода от скорости движения

# АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ